



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE DISEÑO DE CAMINOS BÁSICOS EN  
VÍAS URBANAS DE ESCASOS RECURSOS PARA  
MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR - CASO:  
COOPERATIVA LA UNIÓN- LURIGANCHO- CHOSICA**

**PRESENTADA POR**

**DANY OCTAVIO OCHOA MENDIETA**

**ANGELO ALEXANDRO ROJAS RIVERA**

**ASESOR**

**VÍCTOR ANTONIO ZELAYA JARA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**LIMA – PERÚ**

**2019**



**CC BY**

**Reconocimiento**

El autor permite a otros distribuir y transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra, incluso con fines comerciales, siempre que sea reconocida la autoría de la creación original

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE CAMINOS BÁSICOS EN VÍAS URBANAS DE  
ESCASOS RECURSOS PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD  
VEHICULAR - CASO: COOPERATIVA LA UNIÓN- LURIGANCHO- CHOSICA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR**

**OCHOA MENDIETA, DANY OCTAVIO  
ROJAS RIVERA, ANGELO ALEXANDRO**

**Asesor: Dr. ZELAYA JARA, VICTOR ANTONIO**

**LIMA, PERÚ**

**2019**

A Dios por darme salud, a mis padres por darme soporte y aliento, mi hermano y demás familiares que hicieron posible mi realización profesional. A todos ellos infinitas gracias y que Dios los bendiga.

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida dándome salud, poder lograr mis objetivos y metas propuestas y, sobre todo, por darme una familia extraordinaria. Esta investigación la dedico a mis padres, Segundo Rojas y Mechita Rivera por haberme apoyado en todo momento y por conducirme por el camino de la superación, a mi hermana Jamilley y a mi hijo Thiago por la motivación constante y su paciencia infinita; y a mis demás familiares que estuvieron desde el inicio de mi carrera. Muchísimas gracias.

## RESUMEN

En la presente investigación se busca proponer un diseño de camino básico económico, afirmado con supresor de polvo, que tenga características similares a la de un pavimento. Para poder diseñar esta infraestructura vial, se ha realizado un análisis del suelo, un estudio topográfico y conteo de tráfico vehicular.

Con el propósito de obtener las características y propiedades del suelo, se realizaron dos pozos exploratorios para extraer las muestras del terreno. En el laboratorio se realizó el ensayo granulométrico, los límites de Atterberg, el ensayo de Proctor modificado y finalmente el ensayo de CBR para conocer la capacidad de soporte del terreno evaluado. Sin embargo, se obtuvo de este último ensayo un CBR desfavorable (menor a 6 por ciento) lo cual indicaba una subrasante inadecuada; ello conllevó al uso de estabilizadores químicos para el mejoramiento del terreno.

Como parte del trabajo de campo también se desarrollaron los estudios de topografía y el conteo de tráfico vehicular. El conteo de tráfico vehicular se realizó por un periodo de 7 días y permitió determinar el IMDA proyectado para el diseño.

El trabajo en gabinete consistió en diseñar el camino utilizando principalmente el manual de carreteras de diseño geométrico. El diseño se realizó en el software AutoCAD Civil 3D, del cual al final se obtuvo los planos de planta, perfil y secciones transversales.

Palabras clave: Afirmado, caminos básicos, CBR, diseño geométrico, estudio de suelos, estudio de topografía, tráfico vial.

## **ABSTRACT**

This research seeks to propose a basic economic road design, a trail road with a dust suppressor, that has similar characteristics to a pavement. In order to design this road infrastructure, a soil analysis, a topographic study and vehicle traffic count have been carried out.

In order to obtain the characteristics and properties of the soil, two exploratory wells will be used to extract the soil samples. In the laboratory the granulometric test, the limits of Atterberg, the modified Proctor test and finally the CBR test were carried out to know the support capacity of the land evaluated. However, an unfavorable CBR (less than 6 percent) was obtained from this last test which indicates an inadequate subgrade; This implies the use of chemical stabilizers for soil improvement.

As part of the fieldwork, topography studies and vehicular traffic counting were also developed. The vehicle traffic count was performed for a period of 7 days and determined the projected IMDA for the design.

Cabinet work consists of designing the road using mainly the geometric design road manual. The design was done in the AutoCAD Civil 3D software, from which the floor plans, profile and cross sections were extracted at the end.

Keywords: Affirmed, basic roads, CBR, geometric design, soil study, topography study, road traffic.

## INTRODUCCIÓN

En el siglo XX surgió el concepto suelo-sal, para la aplicación de tratamientos superficiales en carreteras no pavimentadas; que radicaba en humedecer la carpeta granular con el uso de los siguientes cloruros; magnesio, sodio, potasio, bario, entre otros; No obstante, y por razones económicas, solo unos cuantos de estas han podido ser aplicadas como aditivo en la estabilización de carreteras. A inicios del año 2003, en el Perú, se comenzaron a emplear estos químicos en caminos de empresas minera y en algunas ciudades, con el simple y único propósito de eliminar el polvo. En la actualidad se realizan estabilizaciones a diferentes espesores y para su correcta aplicación es necesario contar con parámetros experimentados y elaborados en el país.

En la presente investigación se estudió un tramo de 490 metros lineales, ubicado en el distrito de Lurigancho-Chosica, en la calle La Cooperativa la Unión; lo que se busca es diseñar caminos básicos, a base de afirmado, en zonas urbanas cuyas condiciones de transitabilidad de los vehículos son inadecuadas, mejorando su condiciones de infraestructura vial y a un presupuesto económico; obteniendo resultados óptimos que cumplan las normas establecidas en el manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y con una proyección de 10 años. El objetivo primordial de la presente tesis es diseñar un camino básico y menos costoso, el de la hipótesis principal es mejorar las inadecuadas condiciones de infraestructura vial; transitabilidad vehicular.

La presente tesis está dividido en seis capítulos, en el capítulo I, presentará el problema principal a investigar junto con sus problemas secundarios, además, se definen los objetivos la cual servirá como propósito de esta investigación. En el capítulo II se mencionan los antecedentes nacionales e internacionales que



ayudaron al avance de este proyecto como fuentes de información, no obstante, se darán definiciones de los componentes necesarios para el diseño de caminos, desde el tipo de carretera hasta los ensayos de laboratorio, igualmente se establecerá la hipótesis para la mejora de inadecuadas condiciones de infraestructura vial, definiendo el tipo de suelo y su capacidad admisible del mismo.

El capítulo III, constará de la metodología a emplear en el presente proyecto con un tipo de investigación aplicada y de diseño experimental a un nivel explicativo-descriptivo. También se indicarán las variables seguido de su población y muestra, que consta de un tramo de 490 m aproximadamente de longitud en el distrito de Lurigancho – Chosica. También se visualizará las técnicas, procedimientos e instrumentos utilizados para este proyecto.

En el capítulo IV, se explica los procedimientos realizados paso a paso, siguiendo una jerarquía adecuada que conlleve a un análisis óptimo que ayudará a la obtención de resultado que se mencionará en el capítulo V; en este, se determinará el tipo de suelo con una capacidad portante menor al 6por ciento lo cual genera una mejora del suelo mediante estabilizadores; cloruro de calcio y cloruro de magnesio trabajando con dosificaciones de 1 por ciento a 2 por ciento y de 3 por ciento a 5 por ciento respectivamente. También se determinará el espesor del afirmado, utilizando el método NAASRA.

En el capítulo VI, se ejecuta la discusión de los resultados hallados por cada ensayo de laboratorio, aparte se discutirá el afirmado más favorable tenido en cuenta su estabilización y por último se indican las conclusiones adquiridas y recomendaciones complementarias para una futura investigación de la presente tesis.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
<b>RESUMEN</b>	iv
<b>ABSTRACT</b>	v
<b>INTRODUCCIÓN</b>	vi
<b>INDICE GENERAL</b>	viii
<b>INDICE DE GRÁFICOS</b>	xii
<b>CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b>	
1.1. Situación problemática	1
1.2. Definición del problema	2
1.2.1. Formulación del problema	
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	
1.3.2. Objetivos específicos	
1.4. Importancia de la investigación	4
1.5. Limitaciones de la investigación	
1.5.1. Espacial	
1.5.2. Temporal	5
1.5.3. Social	
1.6. Viabilidad de la investigación	6
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Antecedentes de la investigación	7
2.1.1. Antecedentes nacionales	
2.1.2. Antecedentes internacionales	8
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. Suelos	
2.2.3. Carreteras	29
2.2.4. Afirmado	35
2.2.5. Canteras y materiales para construir el afirmado	39

2.2.6. Obras ejecutadas en carreteras no pavimentadas	41
2.2.7. Subrasante	44
2.2.8. Estabilización de carreteras no pavimentadas	45
2.2.9. Supresores de polvo	48
2.2.9.1. Cloruro de magnesio como supresor de polvo	
2.2.10. Estudio topográfico	49
2.2.11. Tráfico	50
2.2.12. Variables climáticas	56
2.3. Definición de términos básicos	57
2.4. Marco normativo	60
2.5. Hipótesis	61
2.5.1. Hipótesis general	
2.5.2. Hipótesis específicas	
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>63</b>
3.1. Tipo de investigación	
3.2. Nivel de investigación	
3.3. Diseño de la investigación	64
3.4. Variables	
3.4.1. Variables Independientes	
3.4.2. Variables Dependientes	
3.5. Población y Muestra	
3.5.1. Población	
3.5.2. Muestra	
3.6. Técnicas, procedimientos e instrumentos	65
<b>CAPÍTULO IV DESARROLLO</b>	
4.1. Trabajo de campo	67
4.1.1. Calicata	
4.1.2. Conteo de vehículo	69
4.1.3. Levantamiento Topográfico	70
4.2. Trabajo en Laboratorio	72
4.2.1. Ensayos de laboratorio del terreno natural	

4.3.	Parámetros climáticos	122
4.3.1.	Temperatura en el distrito de Lurigancho – Chosica	
4.4.	Demanda del proyecto	125
4.4.1.	Cálculo del IMDA	
4.4.2.	Cálculo de número de repeticiones de ejes Equiv. (ESAL)	128
4.5.	Diseño geométrico	131
4.5.1.	Clasificación de la carretera por su demanda	
4.5.2.	Clasificación de la carretera por su orografía	132
4.5.3.	Velocidad de diseño	134
4.5.4.	Pendientes máximas	136
4.5.5.	Superficie de rodadura	137
4.5.6.	Bombeo	
4.5.7.	Espesor de afirmado	138
4.5.8.	Procesamiento de información en AUTOCAD CIVIL 3D	140
4.6.	Presupuesto y análisis de precios unitarios.	142
4.6.1.	Análisis de precios unitarios.	
4.6.2.	Presupuesto	149
<b>CAPÍTULO V RESULTADO</b>		
5.1.	Tipo de suelo	152
5.2.	Capacidad portante del suelo	155
5.2.1.	Capacidad portante del suelo natural	
5.3.	Estabilización del suelo	160
5.3.1.	Estabilización del suelo con cloruro de magnesio	
5.3.2.	Estabilización de suelo con cloruro de calcio	172
5.3.2.1.	Estabilización del suelo con cloruro de calcio	
5.4.	Demanda del proyecto	184
5.5.	Espesor de afirmado	
5.6.	Diseño geométrico	185
5.7.	Presupuesto	186
<b>CAPÍTULO VI DISCUSION DE RESULTADOS</b>		
6.1	Ensayos de laboratorio	189
6.2	Valor y rango de las dosificaciones	190

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>192</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>194</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>196</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN</b>	<b>221</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>TABLAS</b>	<b>Página</b>
Tabla N° 1: Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS	14
Tabla N° 2: Clasificación SUCS – Suelos grano grueso	15
Tabla N° 3: Clasificación SUCS – Suelos grano fino	17
Tabla N° 4: Características de suelo según sus índices de plasticidad	23
Tabla N° 5: Partes básicas de una carretera	30
Tabla N° 6: Clasificación de carreteras según su función	31
Tabla N° 7: Clasificación de carreteras de acuerdo a la demanda	32
Tabla N° 8: Clasificación según Condiciones Orográficas	33
Tabla N° 9: Cuadro resumen - relación entre CBR y EE	36
Tabla N° 10: Espesor de capa del revestimiento granular	37
Tabla N° 11: Catálogo de capas de afirmado (Revestimiento Granular)	38
Tabla N° 12: Entidad y protección de carreteras según el tipo de red vial	42
Tabla N° 13: Tipo de rehabilitaciones de carreteras	43
Tabla N° 14: Categoría de la subrasante	45
Tabla N° 15: Métodos generales de suelos	46
Tabla N° 16: Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes	53
Tabla N° 17: Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes	53
Tabla N° 18: Factores de distribución direccional y de carril	54
Tabla N° 19: Nrep para periodos de 5 y 10 años	56
Tabla N° 20: Normatividad de los ensayos	61
Tabla N° 21: Cantidad de muestras	65
Tabla N° 22: Técnicas, procedimiento e instrumentos	66
Tabla N° 23: Número de calicatas para exploración de suelos	68

Tabla N° 24: Características de las calicatas	68
Tabla N° 25: Conteo de vehículos	70
Tabla N° 26: Puntos del levantamiento topográfico	71
Tabla N° 27: Tamices utilizados según su fracción	72
Tabla N° 28: Peso retenido C-1	73
Tabla N° 29: Peso retenido C-2	74
Tabla N° 30: Porcentaje parcial retenido C-1	75
Tabla N° 31: Porcentaje parcial retenido C-2	76
Tabla N° 32: Porcentaje acumulado retenido y que pasa C-1	77
Tabla N° 33: Porcentaje acumulado retenido y que pasa C-2	79
Tabla N° 34: Promedio de contenido humedad C-1	80
Tabla N° 35: Promedio de contenido humedad C-2	81
Tabla N° 36: Límite Líquido C-1	82
Tabla N° 37: Límite Líquido C-2	83
Tabla N° 38: Límite plástico C-1	84
Tabla N° 39: Límite plástico C-2	85
Tabla N° 40: Proctor Modificado, suelo húmedo C-1	86
Tabla N° 41: Proctor Modificado, suelo húmedo C-2	87
Tabla N° 42: Proctor Modificado, suelo seco C-1	88
Tabla N° 43: Proctor Modificado, suelo seco C-2	89
Tabla N° 44: Proctor Modificado completo C-1	90
Tabla N° 45: Proctor Modificado completo C-2	91
Tabla N° 46: CBR – Compactación C-1	92
Tabla N° 47: CBR - Compactación C-2	92
Tabla N° 48: CBR – Expansión C-1	93
Tabla N° 49: CBR – Expansión C-2	94
Tabla N° 50: CBR – Penetración C-1	95
Tabla N° 51: CBR – Penetración C-2	96
Tabla N° 52: Proctor Modificado (adicionado 3 por ciento de cloruro de magnesio) C-1	98

Tabla N° 53: CBR (adicionado 3 por ciento de cloruro de magnesio) C-1	98
Tabla N° 54: Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio C-1	100
Tabla N° 55: CBR (adicionado 4 por ciento de cloruro de magnesio) C-1	101
Tabla N° 56: Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio C-1.	102
Tabla N° 57: CBR (adicionando 5 por ciento de cloruro de magnesio) C-1	103
Tabla N° 58: Proctor Modificado con 3 por ciento de cloruro de magnesio C-2	104
Tabla N° 59: CBR (adicionando 3 por ciento cloruro de magnesio) C-2	105
Tabla N° 60: Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio C-2	106
Tabla N° 61: CBR (adicionando 4 por ciento cloruro de magnesio) C-2	107
Tabla N° 62: Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio C-2	108
Tabla N° 63: CBR (adicionando 5 por ciento cloruro de magnesio) C-2	109
Tabla N° 64: Proctor Modificado con 1 por ciento de cloruro de calcio C-1	110
Tabla N° 65: CBR (adicionando 1 por ciento cloruro de calcio) C-2	111
Tabla N° 66: Proctor Modificado con 1.5 por ciento de cloruro de calcio C-1	112
Tabla N° 67: CBR (adicionando 1.5 por ciento cloruro de calcio) C-1	113
Tabla N° 68: Proctor Modificado con 2 por ciento de cloruro de calcio C-1	114



Tabla N° 69: CBR (adicionando 2 por ciento cloruro de calcio) C-1	115
Tabla N° 70: Proctor Modificado con 1 por ciento de cloruro de calcio C-2	116
Tabla N° 71: CBR (adicionando 1 por ciento de cloruro de calcio) C-2	117
Tabla N° 72: Proctor Modificado con 1.5 por ciento de cloruro de calcio C-2	118
Tabla N° 73: CBR (adicionando 1.5 por ciento de cloruro de calcio) C-2	119
Tabla N° 74: Proctor Modificado con 2 por ciento de cloruro de calcio C-2	120
Tabla N° 75: CBR (adicionando 2 por ciento de cloruro de calcio) C-2	121
Tabla N° 76: IMDA actual por tipo de vehículos	126
Tabla N° 77: Tabla de crecimiento vehicular	127
Tabla N° 78: IMDA al 2029 por cada tipo de vehículo	128
Tabla N° 79: Cálculo de ejes equivalentes	129
Tabla N° 80: factores de distribución y carril.	129
Tabla N° 81: Configuración de ejes.	129
Tabla N° 82: Relación de cargas por eje para determinar Ejes Equivalentes.	130
Tabla N° 83: Datos para el cálculo del ESAL	130
Tabla N° 84: Rangos de la velocidad de diseño según clasificación	135
Tabla N° 85: Velocidad de marcha teórica.	136
Tabla N° 86: Pendientes máximas.	137
Tabla N° 87: Valores de bombeo de la calzada	138
Tabla N° 88: Espesores de afirmado por tipo de estabilización	139
Tabla N° 89: Descripción de suelos – Granulometría C-1	152
Tabla N° 90: Resultado de Limites de Atterberg C-1	153

Tabla N° 91: Descripción de suelos – Granulometría C-2	153
Tabla N° 92: Resultado de Límites de Atterberg C-2	153
Tabla N° 93: Sistema de clasificación AASHTO	155
Tabla N° 94: Sistema de clasificación AASHTO	155
Tabla N° 95: Resumen de CBR´s al 95 por ciento a 0.1" Penetración	184
Tabla N° 96: Resumen de CBR´s al 95 por ciento a 0.1" Penetración	184

<b>FIGURAS</b>	<b>Página</b>
Figura N° 1: Clasificación de los suelos AASHTO	12
Figura N° 2: Clasificación de los suelos ASTM D635	13
Figura N° 3: Signos convencionales para perfil de calicatas - SUCS	18
Figura N° 4: Clasificación AASHTO	22
Figura N° 5: Sección típica de la Infraestructura del camino	28
Figura N° 6: Estructura básica de una carretera	30
Figura N° 7: Clasificación de carreteras no pavimentadas	34
Figura N° 8: Curva granulométrica C-1	78
Figura N° 9: Curva granulométrica C-2	79
Figura N° 10: Temperatura máxima y mínima promedio en el distrito	122
Figura N° 11: Temperatura promedio por hora en el distrito.	123
Figura N° 12: Niveles de comodidad de la humedad en el distrito	123
Figura N° 13: Probabilidad diaria de precipitación en el distrito.	124
Figura N° 14: Horas de luz natural y crepúsculo en el distrito	124
Figura N° 15: Salida sol y puesta del sol con crepúsculo en el distrito.	125
Figura N° 16: pendientes transversales de la vía	132
Figura N° 17: pendientes longitudinales de la vía	133
Figura N° 18: Curvas de nivel.	140
Figura N° 19: Eje de alineamiento y perfil longitudinal	141
Figura N° 20: Sección transversal km 00+340	141

Figura N° 21: A.P.U. Excavación y corte	142
Figura N° 22: A.P.U. Relleno con material propio	143
Figura N° 23: A.P.U. Eliminación de material excedente	143
Figura N° 24: A.P.U. Sub partida Preparación de cloruro de magnesio	144
Figura N° 25: A.P.U. Sub partida Preparación de cloruro de Calcio	144
Figura N° 26: A.P.U. Perfilado y compactación de subrasante – calcio (1 por ciento)	145
Figura N° 27: A.P.U. Perfilado y compactación de subrasante– mag. 3 por ciento	145
Figura N° 28: A.P.U. Subpartida Salmuera para compactación	146
Figura N° 29: A.P.U. Conformación y compactación de subrasante e=0.15m	146
Figura N° 30: A.P.U. Preparación de salmuera - supresor de polvo	147
Figura N° 31: A.P.U. Regado y compactación de salmuera	147
Figura N° 32: A.P.U. Subbase granular c/equipo e= 0.20 m	148
Figura N° 33: A.P.U. Base granular c/equipo e= 0.25 m	148
Figura N° 34: A.P.U. Imprimación asfáltica	149
Figura N° 35: Presupuesto para el cloruro de magnesio	150
Figura N° 36: Presupuesto para el cloruro de calcio	150
Figura N° 37: Presupuesto para el pavimento flexible	151
Figura N° 38: Clasificación fracción limoso – arcillosa (AASHTO)	154
Figura N° 39: Proctor modificado del suelo natural C-1	156
Figura N° 40: CBR del suelo natural C-1	157
Figura N° 41: Proctor Modificado del suelo natural C-2	158
Figura N° 42: CBR del suelo natural C-2	159
Figura N° 43: Proctor Modificado con 3 por ciento de cloruro de magnesio C-1	161
Figura N° 44: CBR (adicionado 3 por ciento de cloruro de magnesio) C-1	161
Figura N° 45: Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio C-1	162

Figura N° 46: CBR (adicionado 4 por ciento de cloruro de magnesio) C-1	163
Figura N° 47: Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio C-1	164
Figura N° 48: CBR (adicionado 5 por ciento de cloruro de magnesio) C-1	165
Figura N° 49: Proctor Modificado con 3 por ciento de cloruro de magnesio C-2	166
Figura N° 50: CBR (adicionado 3 por ciento de cloruro de magnesio) C-2	167
Figura N° 51: Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio C-2	168
Figura N° 52: CBR (adicionado 4 por ciento de cloruro de magnesio) C-2	169
Figura N° 53: Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio C-2	170
Figura N° 54: CBR (adicionado 5 por ciento de cloruro de magnesio) C-2	171
Figura N° 55: Proctor Modificado con 1 por ciento de cloruro de calcio C-1	172
Figura N° 56: CBR (adicionado 1 por ciento de cloruro de calcio) C-1	173
Figura N° 57: Proctor Modificado con 1.5 por ciento de cloruro de calcio C-1	174
Figura N° 58: CBR (adicionado 1.5 por ciento de cloruro de calcio) C-1	175
Figura N° 59: Proctor Modificado con 2 por ciento de cloruro de calcio C-1	176
Figura N° 60: CBR (adicionado 2 por ciento de cloruro de calcio) C-1	177

Figura N° 61: Proctor Modificado con 1 por ciento de cloruro de calcio C-2	178
Figura N° 62: CBR (adicionado 1 por ciento de cloruro de calcio) C-2	179
Figura N° 63: Proctor Modificado con 1.5 por ciento de cloruro de calcio C-2	180
Figura N° 64: CBR (adicionado 1.5 por ciento de cloruro de calcio) C-2	181
Figura N° 65: Proctor Modificado con 2 por ciento de cloruro de calcio C-2	182
Figura N° 66: CBR (adicionado 2 por ciento de cloruro de calcio) C-2	183
Figura N° 67: Espesor de Afirmado por por ciento de estabilizante	185
Figura N° 68: Parámetros de la vía	185
Figura N° 69: Presupuesto para el cloruro de magnesio	186
Figura N° 70: Presupuesto para el cloruro de calcio	187
Figura N° 71: Presupuesto para el pavimento flexible	188
Figura N° 72: Comparación general de CBR de ambas calicatas	190

## **IMÁGENES**

## **Página**

Imagen N° 1: Ubicación del proyecto	5
Imagen N° 2: Obtención de material para el afirmado de carretera	40
Imagen N° 3: Trabajo de afirmado Tramo de Tacta – Gomal, Mariscal Castilla	44
Imagen N° 4: Punto de control	69
Imagen N° 5: Levantamiento topógrafo	71
Imagen N° 6: Concepto de carretera de tercera clase	131
Imagen N° 7: Tipo de carretera según su orografía.	134

## **CAPÍTULO I**

### **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Situación problemática**

Actualmente en el Perú existen diversas zonas con falta de infraestructura vial, áreas aún no pavimentadas. La Red Vial Nacional tiene una longitud total de 27,109.6 km., de los cuales 5, 575.6 Km. (20.6 por ciento) son caminos no pavimentados; la Red Vial Departamental tiene una longitud 27, 505.6 Km., de los cuales 23,882.5 Km. (86.8por ciento) son caminos no pavimentados; la Red Vial Vecinal tiene una longitud de 113,857.9 Km, de los cuales 111,999 Km. (98.4 por ciento) son caminos no pavimentados. Existiendo en total 141,457.1 Km. (84 por ciento) de caminos no pavimentados. Siendo la razón de ello el tráfico relativamente bajo dentro de la zona, que en su mayoría son rurales, haciendo económicamente inviable su pavimentación. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2019).

Así también, existen numerosas vías urbanas que se encuentran sin pavimentación. El porcentaje de estas vías no pavimentadas se desconoce, pero, si uno va por zonas alejadas, como por ejemplo los conos (en lima), se topa con una barbaridad de calles sin ningún tratamiento superficial en los que al pasar vehículos se logra ver el polvo levantarse en una cantidad muy notoria. Este inconveniente de la generación de polvo tras el paso de vehículos llega a afectar a familias cercanas a las vías en su calidad de vida, pues en muchos casos el polvo llega a ser perjudicial para la salud.

Teniendo en cuenta la cantidad de vías urbanas no pavimentadas en nuestro país, es necesario realizar un estudio que permita desarrollar una alternativa de solución para estas zonas, ya que dichos caminos representan una

fuente de desarrollo social para el bienestar de la comunidad. Las alternativas de solución pueden ser desde un afirmado, hasta un pavimentado en sus diferentes tipos; flexible, rígido o mixto.

Una de las alternativas de solución para estos caminos sin pavimentar, es un trabajo conjunto entre las municipalidades y los pobladores de la zona de intervención, la colaboración de ambos agentes garantizaría la realización de estudios y la ejecución del proyecto. Sin embargo, debido a que este tipo de obras son financiadas por la comunidad, el presupuesto es bastante limitado y en la mayoría de los casos solo se logran ejecutar proyectos de pavimentación con afirmado.

Frente a esta necesidad, esta investigación propone diseñar caminos básicos económicos; afirmados tratados con supresor de polvo, que tengan características similares a las de un pavimento (flexible o rígido) en lo estético y serviciabilidad.

## **1.2. Definición del problema**

El presente estudio tiene como finalidad evaluar y proponer un diseño de un camino básico para zonas urbanas, con una óptima estabilidad estructural con el fin de obtener un mejor desempeño en términos de eficiencia tanto técnica como económica; por ende, solucionar las inadecuadas condiciones de transitabilidad vehicular.

### **1.2.1. Formulación del problema**

#### **1.2.1.1. Problema general**

- ¿Qué tipo de camino básico menos costoso permitirá solucionar las inadecuadas condiciones de transitabilidad vehicular en las calles de la cooperativa La Unión- Lurigancho-Chosica?

### **1.2.1.2. Problemas específicos**

- ¿Qué características y comportamientos presenta el suelo de la Cooperativa La Unión– Lurigancho – Chosica?
- ¿Qué mejoras de CBR presenta el suelo de la Cooperativa La Unión– Lurigancho – Chosica frente a la incorporación de cloruro de magnesio y cloruro de calcio?
- ¿Cuál es el mejor estabilizador, sea cloruro de magnesio o cloruro de calcio, y su respectiva dosificación con el fin de obtener un camino básico menos costoso para el suelo de la Cooperativa La unión- Lurigancho Chosica?
- ¿Qué tipo de superficie de rodadura es el más adecuado para las calles de la cooperativa La Unión- Lurigancho-Chosica?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

- Evaluar y diseñar un camino básico menos costoso para solucionar las inadecuadas condiciones de transitabilidad vehicular en las calles de la cooperativa La Unión- Lurigancho-Chosica.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar qué características y comportamientos presenta el suelo de la Cooperativa La Unión – Lurigancho – Chosica.
- Precisar qué mejoras de CBR presenta el suelo de la Cooperativa La Unión– Lurigancho – Chosica frente a la incorporación de cloruro de magnesio y cloruro de calcio.



- Establecer cuál es el mejor estabilizador, sea cloruro de magnesio o cloruro de calcio, y su respectiva dosificación para el suelo de la Cooperativa La unión – Lurigancho - Chosica para con el fin de obtener un camino básico menos costoso.
- Diseñar una superficie de rodadura de afirmado tratado con supresor de polvo para las calles de la cooperativa La Unión- Lurigancho-Chosica.

#### **1.4. Importancia de la investigación**

Esta investigación es importante porque permitirá diseñar caminos básicos para zonas urbanas, y que la ejecución de estos caminos sea de carácter simple y económico permitiendo una mejor transitabilidad adecuada de vehículos. Según el último informe de Infraestructura vial existente del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) en el 2018; se determinó que en Perú existe un porcentaje considerable de infraestructura vial en kilómetros, tanto en el sector departamental como vecinal, que no han sido pavimentados y en la mayoría de los casos, estos tienden hacer ejecutados por miembros de la misma comunidad (zona urbana) por lo que no cuentan con apoyo del estado y su presupuesto es limitado.

#### **1.5. Limitaciones de la investigación**

Se indicarán las limitaciones de la investigación en cada uno de sus siguientes entornos:

##### **1.5.1. Espacial**

En la limitación de espacio, el desarrollo de este proyecto se realizará:

- Región : LIMA
- Provincia : LIMA

- Distrito : LURIGANCHO – CHOSICA



**Imagen N° 1: Ubicación del proyecto**

Fuente: Google Maps.

### **1.5.2. Temporal**

La presente investigación se realizó desde el mes de agosto del 2019 hasta el mes de noviembre del mismo año.

### **1.5.3. Social**

Toda la investigación deberá tener en cuenta el Manual de carreteras del MTC, principalmente, el Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos, 2014.

## **1.6. Viabilidad de la investigación**

- El presente proyecto cuenta con el capital humano necesario para la ejecución del mismo, puesto que seremos nosotros quienes pongan en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en nuestra casa de estudios.
- Se utilizará el laboratorio de la empresa PEINSAC que tienen el complemento adecuado para la ejecución de los ensayos.
- Existe suficiente información primaria sobre el tema de investigación, que nos facilita la revisión bibliográfica para la distinción y la disputa de los resultados.
- La investigación constará de un periodo de 4 meses aproximadamente dentro del año 2019, por todo el tiempo que conlleva el desarrollo los procesos y el cumplimiento de los objetivos planteados en nuestro informe.
- El trabajo de investigación será financiado con los recursos monetarios propios de los investigadores, de modo que, el presente trabajo no demanda un financiamiento o tener amparo de una entidad.
- Finalmente, con la hechura de la presente investigación no se sembrará ningún daño a al ambiente ni a la sociedad, sino que beneficiará a la misma; en términos de seguridad vial, confort, economía, accesibilidad y capacidad de conexión.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. Antecedentes nacionales**

Valverde Flores & Ballena Orbe (2017) en su tesis “Diseño geométrico a nivel de afirmado del camino vecinal san juan de pamplona – santa clara – villa hermosa, l=11 km, distrito de Yurimaguas – provincia de alto amazonas – región Loreto” tienen como objetivo solucionar el problema vial que existe en la localidad de Villa Hermosa. En la tesis realizan los estudios de suelo, estudio topográfico y con dicha información realizaron un diseño geométrico, estudio de tráfico y diseño de pavimento a nivel de afirmado. Tuvo un C.B.R promedio de 15 por ciento en la subrasante y obtuvo una estructura de afirmado de 20cm.

Chávez Tantajulca & Reyes Paredes (2018) en su tesis “Diseño de la carretera vecinal tramo El Alto - Nogol, distrito Mollepata, provincia de Santiago de Chuco, departamento La Libertad” buscan delinear una vía de transporte para la unión de dos caseríos con la finalidad mejorar el desarrollo económico, social y cultural. Para el desarrollo de la investigación realizaron un levantamiento topográfico, estudios de suelo y diseño geométrico. Obtuvieron un CBR de 28.48por ciento en la subrasante. Concluyeron que por el IMDA la superficie de rodadura debía ser de afirmado con un ancho de calzada de 6m y propusieron un material de afirmado con un C.B.R de 42.8por ciento.

Esparraga Hernández & Samame Coronado (2018) en su tesis “Mejoramiento del servicio de transitabilidad del Camino vecinal Zapotal, Uvinta, Puerto Tabalozo - distrito de Huarango – Provincia de San Ignacio - Cajamarca” pretende lograr una integración inter distrital para que los habitantes cuenten con varias alternativas de movilización. Para la elaboración de la tesis realizaron estudios básicos de suelos y topografía. Se presentó en la subrasante un suelo con un CBR de 6 por ciento por lo que se tuvo que estabilizar. Finalmente, el diseño fue de una calzada de 5m de ancho con un material afirmado de cantera con CBR de 40.42 por ciento.

Navarro Sánchez (2018) en su tesis “Diseño de la carretera a nivel de afirmado desde el C.P Yaque a la laguna Saccha del distrito de Tomoche, provincia de Chota-Cajamarca” tiene como finalidad dar acceso a la laguna Saccha desde el poblado Yaque. Realiza estudios topográficos y estudio de suelos para realizar el diseño de la carretera. Obtiene un CBR promedio de 11.69 por ciento como suelo de subrasante y diseña una trocha carrozable con material de afirmado y un ancho de calzada de 4m.

Zambrano Cabello (2017) en su tesis “Estabilización química con Cloruro de Magnesio en el diseño del camino Villa las Orquídeas - Puente Piedra en el 2016” tiene por finalidad determinar las características que el cloruro de magnesio puede aportar para estabilizar el suelo y así diseñar un camino. Realiza el estudio de tráfico e instrucción de suelos y diseña el camino con una velocidad de diseño de 60 Km/h. Concluye que el cloruro de magnesio estabiliza el suelo y mejora el CBR de la muestra.

### **2.1.2. Antecedentes internacionales**

Quezada Tacuri (2016) en su tesis “Diseño del camino vecinal Libertad Km25 Vía a Macas del Cantón Pastaza en la provincia de Pastaza” tiene como objetivo aperturar el camino vecinal para que sus pobladores puedan tener facilidad de mover sus productos y mejorar la comercialización del lugar. Realiza un estudio topográfico diseño geométrico de la vía, así como un presupuesto y

cronograma de trabajos. Obtuvo un CBR de 6.1 por ciento en el suelo de subrasante, una velocidad de diseño de 35 km/h y una carpeta asfáltica con un espesor de 5cm.

Rodríguez Armas (2015) en su tesis “Estudio y diseño del sistema vial de la comuna san Vicente de Cucupuro de la parroquia rural del Quinche del distrito metropolitano de Quito, provincia de Pichincha” tiene como finalidad cubrir la necesidad de circulación vehicular de los habitantes, pues afirma que la vía existente se encuentra en abandono. Encuentra una subrasante con CBR de 3 por ciento luego de efectuar el estudio de suelos. Como resultado, el diseño obtenido consta de una velocidad de circulación de 50km/h, ancho de calzada de 6m y presentan una solución con adoquinado y otra con asfalto.

Lopez Lopez (2017) en su tesis “Diseño geométrico de un tramo del camino rural “Zañe” ubicado en el barrio Florencia, parroquia el Valle, provincia de Loja” tiene como objetivo diseñar un camino, pues afirma que el existente se encuentra intransitable. En la tesis realizan estudios de topografía y suelos y diseña una vía de 4m de ancho con una velocidad de diseño de 25 km/h.

Suárez Rosales & Vera Tomalá (2015) en su tesis “Estudio y diseño de la vía El Salado-Manantial de Guangala del Cantón Santa Elena. Universidad Estatal Península de Santa Elena” plantea estudiar y diseñar la vía vecinal que se encuentra en malas condiciones. En el desarrollo realiza estudios de suelo y topografía para realizar el diseño geométrico del camino. El CBR de la subrasante encontrada fue de 7.4 por ciento y plantea como solución un pavimento flexible con 50 cm de base, 22.5cm de sub-base y una carpeta asfáltica de 7.5cm.

(Dúran Rodas, 2014) en su tesis “Diseño preliminar de un camino vecinal de aproximadamente 900 metros de longitud que enlaza dos caminos vecinales, comuna san José, parroquia Manglaralto, Cantón Santa Elena, Provincia Santa Elena, Ecuador” tiene como objetivo diseñar un camino nuevo que permita enlazar dos comunas. En la tesis realiza un estudio de tráfico, estudio de suelo y estudio topográfico. En las calicatas, los valores de CBR tienen

un promedio de 4.5 por ciento. Finalmente el diseño consta de una velocidad de diseño de 25 km/h con un vasto de calzada de 4m, para la subrasante se empleará cal para su estabilización y para la rasante se usará material de cantera.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Suelos**

La exploración de suelos es un factor muy importante, ya que se determina las características propias del suelo, de tal manera, poder realizar el correcto diseño del camino. Si la exploración registrada y las muestras obtenidas no son representativas, aun realizando los ensayos de manera correcta con exigencia de precisión, no tendrá mayor relevancia para los objetivos propuestos. (Suelos, 2014). Se consideran tres puntos de parámetros poder determinar el comportamiento del suelo:

- Parámetro de identificación: tamaño de grano que constituyen el agregado del suelo (granulometría) y variación de consistencia del agregado en función de la cantidad de agua (plasticidad).
- Parámetros de estado: cantidad de agua del agregado y el grado de compactación, refiriéndose a la humedad y densidad respectivamente.
- Parámetros geomecánicas: se refiere a la capacidad portante del suelo y la permeabilidad del mismo. (Montes, 2010)

#### **2.2.1.1. Tipo de suelos: Clasificación AASHTO**

La clasificación de los suelos según AASHTO están dados en 7 grupos, los cuales van desde el A1 hasta el A7, de acuerdo a su

granulometría y plasticidad. Estos siete grupos a su vez están comprendidos dentro de dos grupos; suelos granulares (aquellos en el que el porcentaje que pasa la malla 200 no excede a 35 por ciento) o suelos limo arcillosos (aquellos suelos en el que el porcentaje que pasa por la malla 200 sea mayor a 35 por ciento).

Los grupos incluidos por los suelos granulares y suelos limo-arcillosos son los se muestran en la figura N°1:

TIPO		DESCRIPCIÓN
<b>SUELOS GRANULARES</b>	A-1	Corresponde a una mezcla bien graduada de gravas, arenas (gruesa y fina) y finos no plásticos o muy plásticos. También se incluyen en este grupo las mezclas bien graduadas de gravas y arenas sin finos.
	A-1-a	Incluye los suelos con predominio de gravas, con o sin material fino bien graduado.
	A-1-b	Incluye suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado.
	A-3	Corresponde, típicamente, a suelos constituidos por arena fina de playa o de duna, de origen eólico, sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. También incluyen este grupo, los depósitos fluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa o grava.
	A-2	Este grupo comprende a todos los suelos que contienen un 35 por ciento o menos de material que pasa por el tamiz N° 200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos o la plasticidad de estos (o



		ambas cosas) están por encima de los límites fijados para dichos grupos. Por todo esto, este grupo contiene una gran variedad de suelos granulares que estarán entre los correspondientes a los grupos A-1 y A-3 y a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.
	A-2-4 y A-2-5	En estos subgrupos se incluyen los suelos que contienen un 35 por ciento o menos de material que pasa por el tamiz N° 200 y cuya fracción que pasa por el tamiz N° 40 tiene las características de los grupos A-4 y A-5, de suelos limosos. En estos subgrupos están incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con contenidos de limo o índices de plasticidad por encima de las limitaciones del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede la limitación del grupo A-3.
<b>SUELOS LIMO ARCILLOSOS</b>	A-4, A-5, A.6 y A7	Cuyo comportamiento en explanadas ve de regular a malo. En esta categoría los suelos se clasifican en los distintos grupos atendiendo únicamente a su límite líquido y a su índice de plasticidad.

**Figura N° 1: Clasificación de los suelos AASHTO**

Fuente: Anabelén, G (2015)

La norma ASTM D653 también tiene una clasificación propia para los distintos tipos de suelo. Los clasifica en siete con la terminología que se menciona en la figura N°2.

<b>TIPO DE SUELO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Arena fina	Partículas de roca y suelo que pasan el tamiz #40 (425 $\mu$ m) y son retenidos en un tamiz de 75 $\mu$ m (#200).
Arena gruesa	Partículas de roca o de suelo que pasan el tamiz 2mm (#10) y son retenidos en un tamiz de 425 $\mu$ m (#40)
Cantos	Fragmentos de roca, usualmente redondeados por abrasión, que son retenidos en un tamiz de 7.5 cm
Grava	Partículas de roca que pasan por un tamiz 7.5 cm y son retenidos en un tamiz de 2mm (#10)
Material limo arcilloso	Partículas finas de suelo y de roca que pasan por un tamiz de 75 $\mu$ m (#200
Limoso	Material fino granular que tiene un índice de plasticidad $< o = a 10$
Arcilloso	Material fino granular que tiene un índice de plasticidad $< o = a 11$

**Figura N° 2: Clasificación de los suelos ASTM D635**

**Fuente:** Anabelén, G (2015)

Para poder diferenciar los suelos granulares de los suelos finos o viceversa, la clasificación elaborada por la ASTM toma como referencia la cantidad de material que pasa por el tamiz N° 200. Si pasa más del 50 por ciento por dicha malla es un suelo de grano fino o de lo contrario será un suelo granular. Por otro lado, el AASHTO toma diferencia de estos suelos teniendo en cuenta el 35 por ciento de material pasante. Lo establecido tiende a ser más realista por como uno ve a un suelo, sin embargo, el uso de ambas clasificaciones mejora la visión que uno puede tener respecto al suelo y la manera de diferenciar un tipo de otro.

Existe una correlación entre lo que presenta la clasificación de la AASHTO y el ASTM, lo cual se puede visualizar en la Tabla N°1:

**Tabla N° 1: Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS**

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM -D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

**Fuente:** US Army Corps of Engineers. (Suelos, 2014)

En la Tabla N° 1, se observa la correlación de tipos de suelos entre el método AASHTO y SUCS, identificando las equivalencias por cada tipo de categoría.

### **2.2.1.2. Tipo de suelos: Clasificación SUCS**

La clasificación SUCS, sistema unificado de clasificación de suelos, es usado en la ingeniería y en la geología para determinar la textura y tamaño de partícula de un suelo.

La clasificación se realiza teniendo en cuenta el porcentaje del material al pasar por el tamiza N° 200, en el proceso de realización del ensayo de granulometría.

**Tabla Nº 2: Clasificación SUCS – Suelos grano grueso**

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO DE GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN PARA SUELOS GRANULARES		
Suelos de grano grueso (más del 50% del material es mayor en tamaño que el tamiz n° 200)	Gravas (más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 4)	Gravas Limpias (poco o ningún fino)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas poco o ningún fino	Cu>4 1< Cc<3	
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas grava - arena, poco o ningún fino	No cumple todos los requisitos de gradación para Gw	
			GM	Gravas limosas, mezcla grava - arena - limo	Límites de Atteberg por debajo de la línea A o $Ip < 4$	A los materiales sobre la línea A con $4 < Ip < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo
		GC	Gravas arcillosas, mezcla grava - areno - arcillosas	Límites de Atteberg por encima de la línea A o $Ip > 7$		
	Arenas (más de la mitad de la fracción gruesa es menor que el tamiz N°4)	Arenas Limpias (poco o ningún fino)	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	Cu>6 1< Cc<3	
			SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	No cumplen todos los requisitos de gradación para SW	
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	SM	Arenas limosas mezcla de arena - limo	Límites de Atteberg por debajo de la línea A o $Ip < 4$	A los materiales sobre la línea A con $4 < Ip < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena - arcilla	Límites de Atteberg por encima de la línea A o $Ip > 7$	

**Fuente:** Introducción a la Geotecnia. Universidad de Cantabria

En la Tabla Nº 2, se visualiza un cuadro resumen donde se detalla y se simplifica la clasificación de suelo de granos gruesos según el método SUCS; siendo este último de uso general para la determinación del tipo de suelo.









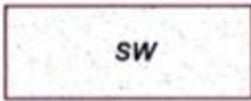



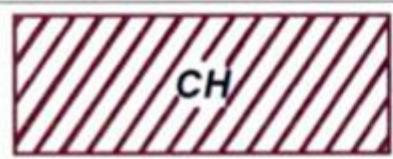

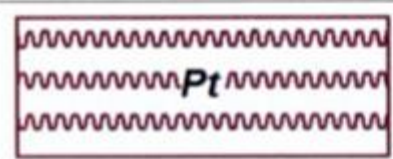
**Tabla N° 3: Clasificación SUCS – Suelos grano fino**

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO DE GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN PARA SUELOS GRANULARES
Suelos de grano fino (más del 50% del material pasa el tamiz n° 200)	Limos y arcillas (Límite líquido $w_l < 50$ )	ML	Limos inorgánicos y arena muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva granulométrica. 2. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz N° 200 los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% - GW, GP, SW, SP
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.	
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
	Limos y arcillas (Límite líquido $w_l > 50$ )	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos.	CARTA DE PLASTICIDAD
		CH	Arcillas orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos	
	Suelos Altamente orgánicos	Pt	Turba u otros suelos altamente orgánicos	

**Fuente:** Introducción a la Geotecnia. Universidad de Cantabria

En la tabla N° 3, se visualiza un cuadro resumen donde se detalla y se simplifica la clasificación de suelo de granos finos según el método

SUCS. Un grano fino depende de que el 50 por ciento del material pase por el tamiz N°200.

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de materia fino, variacion en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo organico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo organico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcillaarenosa, arena limosa, arcilla magra
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variacion en tamaños granulares y cantidades de particulas en tamaños intermedios		Limo organico y arcilla limosa organica, baja plasticidad
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de particulas intermedios		Limo inorganico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico
	Arcilla inorganica de elevada plasticidad, arcilla gravosa		
	Arcilla orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico		
	Turba, suelo considerablemente orgánico		

**Figura N° 3: Signos convencionales para perfil de calicatas - clasificación SUCS**

**Fuente:** MTC E101, Símbolos suelos gráficos para suelos

En la Figura N° 3, observamos los signos convencionales para cada perfil de calicatas, los cuales indican el tipo de suelo que se obtiene después del análisis granulométrico.

### **2.2.1.3. Ensayos de laboratorio**

#### **A. Análisis granulométrico de suelos por tamizado - MTC E 107**

##### **1. Descripción**

Este método distribuye las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño; fracción fina y fracción gruesa según se retenga y pase en la malla N° 4 y respectivamente. Sirve principalmente para acrecentar su clasificación (SUSC o AASHTO) dependiendo de su uso adecuado.

##### **2. Equipos y Materiales**

- Dos balanzas digitales (de 0.1 gr. y de 0.1 por ciento del peso de la muestra)
- Tamices: 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N°10, N°16, N°20, N°30, N°40, N°50, N°60, N°100, N°200, tapa y fondo de acuerdo a la norma ASTM E011.
- Horno eléctrico de temperatura hasta 110°C +- 5°C
- Recipientes metálicos
- Taras metálicas
- Cucharón, palana, escobilla de fierro, bolsas y/o sacos de polietileno.

##### **3. Procedimiento**

El ensayo consiste en pasar por diferentes tamices especificados anteriormente, de manera que se obtengan los tamaños de las partículas.

Se toma una muestra, el peso de la muestra depende del tamaño máximo de agregado del suelo. Si el suelo presenta mucha presencia de

arcillas y limos, se debe realizar un lavado previo de la muestra, de manera que se obtenga solo material granular en su mayoría.

Esta muestra tiene que ser colocada al horno dentro de un recipiente o bandeja para obtener una muestra seca. La temperatura de secado debe ser de 110°C para suelos arenosos y 60°C para suelos arcillosos durante 24 horas; sin embargo, ensayos anteriores demuestran que a 6 horas el peso se mantiene constante. Se tiene que pesar la bandeja o recipiente en un inicio y finalmente el peso seco total. De esta manera podemos obtener el peso seco del suelo.

Después del secado, la muestra se introduce junto a los tamices normados (2 ½", 2", 1", ¾", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°200, pasa la 200) para luego ser zarandeado de manera manual. Se inicia el ensayo. La vibración de los tamices permite que las partículas se acomoden de acuerdo al tamaño que correspondan. El tiempo de duración del ensayo es aproximadamente de 3 minutos aproximadamente.

Después, se pesa la cantidad de suelo que se retiene para cada tamiz teniendo mucho cuidado que la cantidad de material se mantenga intacto. Con la información obtenida, se entra a un formato de Excel para su procesamiento y obtención de la curva granulométrica.

## **B. Determinación del contenido de humedad de un suelo - MTC E 108**

### **1. Descripción**

Con este ensayo se establece el método para determinar el contenido de humedad del suelo, la cual, es la relación expresada como porcentaje, del peso de agua en el suelo, al peso natural del mismo, en otras palabras, es el modo operativo de determinar el peso del agua eliminada.



## **2. Equipos y Materiales**

- Horno 110°C
- Balanzas de 0.01g (para muestras menores a 200g) y 0.1g (para muestras mayores a 200 g)
- Recipientes de material resistente a la corrosión; herméticas.
- Desecador
- Guantes, tenazas, herramienta para el ajuste apropiado moviendo y manipulando los recipientes calientes

## **3. Procedimiento**

El ensayo consiste en la obtención de la humedad natural de la muestra. Este valor nos permite calificar al suelo natural junto a demás parámetros la plasticidad del suelo.

El ensayo se realiza pesando la muestra tal y como esta, luego ponerla a secar dependiendo si el suelo es arcilloso o arenoso, se define la temperatura de secado durante un tiempo de 6 horas. Se hace el respectivo pesaje previo de la bandeja a ingresar al horno con la muestra. Después del secado, se pesa la muestra con el suelo, obteniendo por diferencia el peso del suelo seco.

Finalmente obtener el contenido de humedad dividiendo el peso del agua (peso húmedo – peso seco) sobre el peso seco de la muestra.

## **C. Determinación del límite líquido de los suelos - MTC E 110 y límite plástico – MTC E 111**

### **1. Descripción**

El Límite Líquido es la cantidad de agua que posee en suelo para pasar de un estado semirrígido a plástico, entre otras palabras, la humedad que tiene un suelo es el límite líquido.

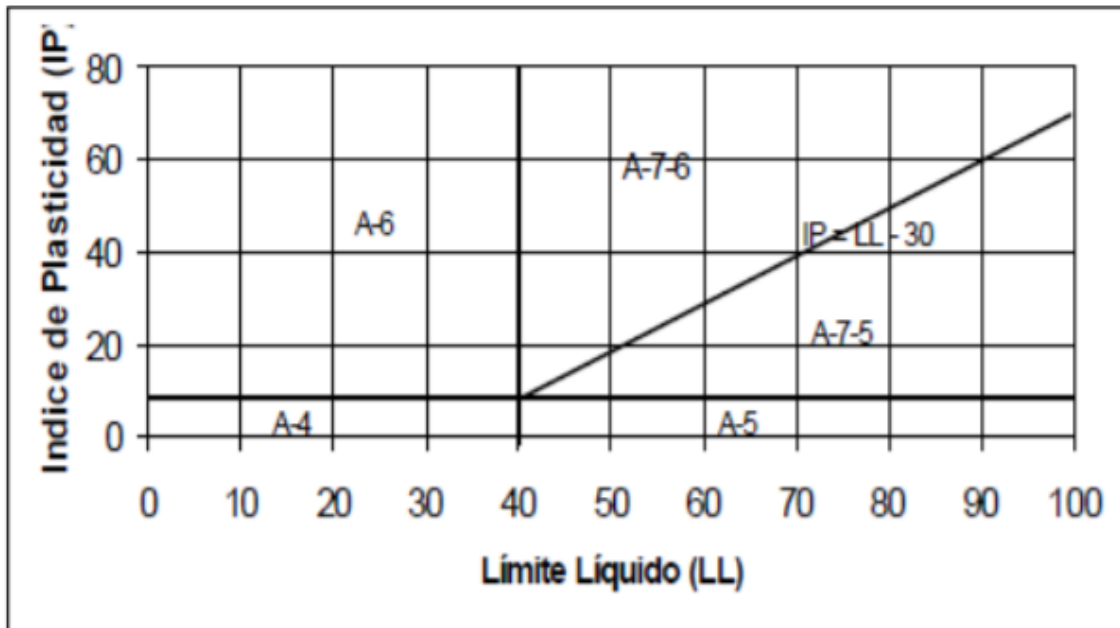
El Límite Plástico es la cantidad de agua que tiene un suelo, cuya variación de estados es de uno plástico a uno líquido.

Ambos límites determinan Índice de plasticidad (IP):

$$IP = LL - LP$$

(Alvares, 2010)

**Figura N° 4: Clasificación AASHTO**



**Fuente:** (LMS-FIC-UNI, 2004) Carta de plasticidad – AASTHO

En la Figura N° 4; podemos observar que según la clasificación AASHTO, la relación entre el Límite Líquido y el Índice de Plasticidad es directa. Esta relación nos permite determinar el tipo de suelo a trabajar Índice de plasticidad (IP) es el entorno en el que el suelo se comporta plásticamente; resiste cargas y una nula falla al momento de deformarse. (Hoyos, M. 2006).

**Tabla N° 4: Características de suelo según sus índices de plasticidad**

INDICE DE PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICAS
$IP > 20$	Suelos muy arcillosos
$20 > IP > 10$	Suelos arcillosos
$10 > IP > 4$	Suelos pocos arcillosos
$IP = 0$	Suelos exentos de arcillas

**Fuente:** (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

En la Tabla N°4, se observa las características del suelo según el índice de plasticidad obtenidos en el ensayo es Atterberg, cuyo resultado es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

## 2. Equipos y herramientas

- Se utiliza una cuchara de Casagrande con su propia espátula.
- Vidrio esmerilado, para realizar la forma moldeable de la muestra.
- Balanza
- Horno
- Recipientes donde se colocará las muestras y sean pesados; cápsulas metálicas
- Malla N°40

### **3. Procedimiento**

#### **3.1. Limite Líquido**

- La muestra extraída en calicatas deberá pasarse por la malla N°4 lo cual definirá el diámetro de las partículas con las que se debe trabajar
- El peso de la muestra trabajada será mínimo de 200 g
- Luego se coloca en un recipiente el material más una cierta cantidad de agua.
- Cuya mezcla se pondrá en la copa de Casagrande y se procederá a ejercer los golpes.
- La mezcla retirada será la que se una al momento de ejercer los golpes.
- Se sustrae aquella muestra y posteriormente se coloca en los recipientes para su secado respectivo.
- Pasando como mínimo 16 horas se obtendrá el peso seco de las capsulas.

#### **3.2. Limite Plástico**

- Se calcula un aproximado de 200 g que pase la malla N° 4, para la ejecución de este.
- Luego se extrae una cierta cantidad y se coloca en el molde para mezclarlo con cierta cantidad de agua y obtener una muestra trabajable.
- Luego se trabaja encima del vidrio para hallar la plasticidad del suelo.
- La manera correcta es realizar un suave moldeado de la muestra trabajada y formar una especie de plastilina.
- Posteriormente, se sabrá que el ensayo finaliza cuando se obtiene La mínima rajadura en la muestra moldeada de 0.1”.
- Se coloca en la capsula metálica la muestra y con ello su secado respectivo.

## **D. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado) – MTC E 115**

### **1. Descripción**

Este ensayo determinara la densidad máxima seca y humedad optima del suelo.

### **2. Equipos y herramientas**

- Balanza
- Molde de acuerdo al MTC
- Mallas de 3/4 “3/8” y N° 4
- Recipientes metálicos, ya sean rectangulares o cuadradas
- Espátula
- Regla metálica

### **3. Procedimiento**

El ensayo Proctor consiste en obtener la mejor compactación, esto requiere un valor de humedad óptima y una densidad seca máxima

Por medio de este ensayo obtendremos una curva que nos permitirá hallar estos dos valores.

Se preparan las muestras a ensayar. Primero se hizo el tamizado por la N°4 para poder realizar una buena compactación en los moldes. Se necesita un aproximado de 6 kg para cada punto. Para la curva a obtener, se recomienda 4 puntos, por temas de tiempo solo se trabajó con 3 puntos y el cuarto punto se tomó a criterio del ingeniero.

La muestra de 6kg se mezcla con cierta cantidad de agua para que la mezcla sea consistente. Esta cantidad de agua va a depender de la experiencia del operador, ya que para diferentes tipos de suelos el nivel de compactación es diferente; siendo en suelos granulares, arenosos, una densificación mayor que en suelos arcillosos o limosos. Entonces, esta mezcla de suelo con agua, se va a ir compactando en 5 capas dentro del molde de Proctor Modificado. Cada capa debe compactarse con 56 golpes usando el martillo compactador. Este procedimiento es de suma importancia ya que la compactación debe realizarse de manera homogénea.

Después de haber compactado las 5 capas se pesa el suelo en estado húmedo (previamente había sido mezclado con agua) y se hace una prueba de humedad del interior de la muestra, de manera que la muestra sea representativa.

Con el peso y las dimensiones del molde, se obtiene la densidad del suelo. Usando este valor y el de la humedad se obtiene un punto de la curva. Se repite el ensayo las veces que sea necesario con diferentes cantidades de agua (nuevamente, esta cantidad de agua dependerá de la experiencia del operador) de manera que los puntos de la curva se encuentren cercanos y podamos obtener la curva correcta.

## **E. California Bearing Ratio (CBR) (laboratorio) – MTC E 132**

### **1. Descripción**

Este ensayo permite determinar la resistencia de subrasante, sub base y de afirmado del suelo (esfuerzo cortante). Este índice se realiza en laboratorio en condiciones adecuadas de humedad y densidad.

### **2. Equipos y Materiales**

- Tres moldes cilíndricos con placa de base y collar extensión  $\varnothing$

- Tres discos espaciadores, placas de expansión, sobrecargas de 4.5 kg
- Balanza con precisión de 1 gr.
- Estufa con control de temperatura
- Probeta de 1000 ml
- Espátula
- Taras idénticas
- Papel filtro

### **3. Procedimiento**

Este ensayo se divide en tres etapas, que son las siguientes: Compactación, Expansión y Penetración.

En este ensayo se separan muestras que serán distribuido en tres partes iguales. Luego se extrae una pequeña muestra del total para ponerlo a secar y seguido ver el contenido de humedad que tiene. Todo esto con el fin de saber cuánto de humedad le falta para llegar la óptimo.

Una vez que se tenía la muestra homogeneizada se trabaja en un primer molde. En este se colocaba un disco separador y encima de este un papel filtro para que el material no se pierda y se lo ajustaba con su respectivo collarín. Realizábamos la compactación con 56, 25 y 12 golpes cada 5 capas. Al finalizar cada llenado de molde se enrazaba con una regla metálica el material que quedaba por encima del molde. Después se pesaba el molde con el material puesto y de esa manera obteníamos el peso no saturado.

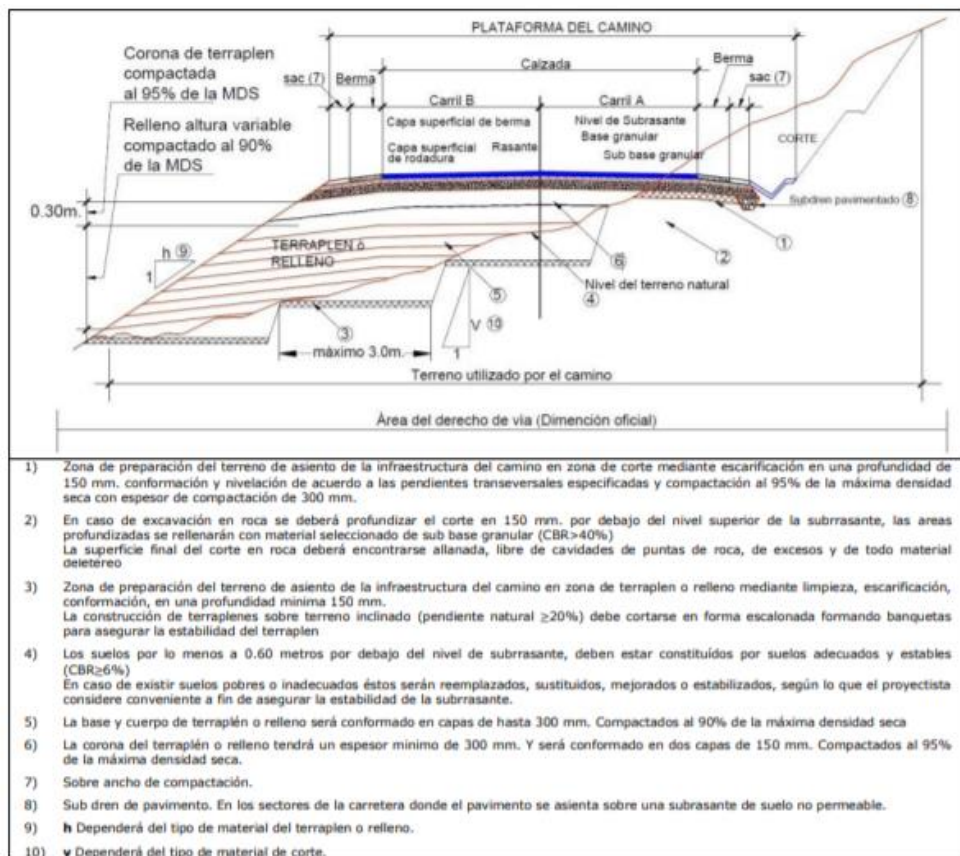
Siguiendo con el ensayo, cada molde era colocado en un recipiente con agua y se deja saturar durante 4 días. No obstante, al momento de calcular la expansión se utilizaba un extensómetro (dial) de aprox. 0.001" encima de un trípode y se media cada día a la misma hora. Se quitan las pesas, la placa perforada y el papel filtro, se pesa para obtener el peso saturado de la muestra, todo esto transcurrido los 4 días.

Finalmente pasábamos a la etapa de penetración, aquí utilizaremos la prensa de carga. Colocamos nuevamente las pesas de sobrecarga y se prepara para la etapa de penetración. Se coloca el molde sobre el soporte de carga de la prensa y se ajusta de manera que el pistón quede centrado con la muestra. Se observa en cero el indicador de presión del anillo de carga y el dial de deformación. Procedemos a registrar las lecturas de presión tabla N°6.

De esta manera el ensayo de CBR nos indica la capacidad portante del suelo (base, sub base) frente a las cargas de los vehículos.

## 2.2.2. Componentes de la infraestructura del camino

Figura N° 5: Sección típica de la Infraestructura del camino



Fuente: (Componentes de la infraestructura del camino, 2014, p. 23)



En la Figura N° 5, se visualiza un corte transversal a la infraestructura de una carretera, En dicha figura se muestran sus partes y la descripción de las mismas.

#### **2.2.2.1. Preparación del terreno**

La preparación del terreno consta del aplanado, nivelado y compactado sobre el cual se ejecutará la infraestructura del camino. Cuando el terreno es de mala calidad, debe ser estabilizado o reemplazado (Componentes de la infraestructura del camino, 2014, p. 20). Los componentes fundamentales del camino son la explanación, que es prácticamente el movimiento de tierras (terraplén y corte), subrasante que se define como superficie terminada de la carretera a nivel de la explanación, el afirmado y pavimento .

#### **2.2.3. Carreteras**

La carretera es una infraestructura vial, su propósito principal es la circulación de vehículos terrestres. Para obtener un diseño de carretera óptima se debe establecer las características técnicas y físicas; en beneficio de la comunidad que requiera del servicio, de tal manera, responder a una necesidad justificada social y económica.

Al conectar los pueblos y comunidades con las principales ciudades y traer consigo un fortalecimiento al país, las carreteras han sido de vital importancia, convirtiéndolas en verdaderas vías que impulsan la competitividad de la economía y el desarrollo social. (Montes, 2010, p. 20).

La sección transversal de una carretera está compuesta por las partes que se muestran en la tabla N° 5, la cual describe brevemente cada una de ellas.

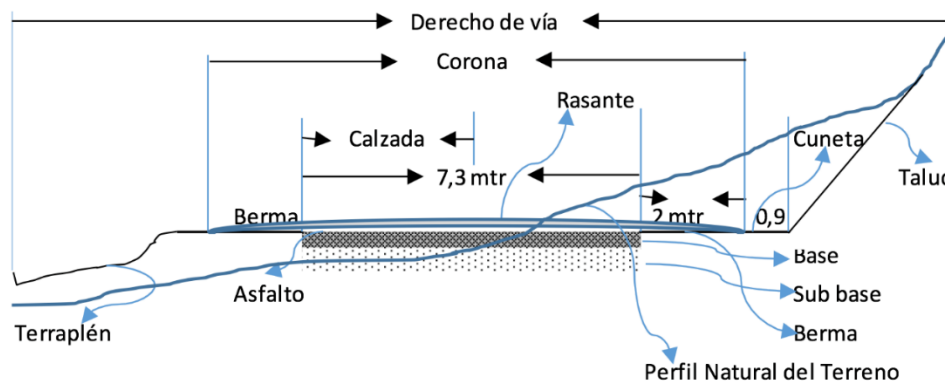
**Tabla N° 5: Partes básicas de una carretera**

Calzada o superficie de rodadura	Se denomina así al lugar donde circulan los vehículos, está conformada por una o más carriles
Berma	Se encuentra entre el borde externo de la calzada y la cuneta
Carril	Se denomina a la división de la calzada, en algunos casos delimitada por viales longitudinales y con un ancho adecuado para la circulación de los vehículos.
Cunetas	Son prácticamente canales abiertos de sección triangular, trapezoidal o rectangular. Se ubican a lo largo de la carretera, con el fin de conducir los escurrimientos superficiales o subsuperficiales, protegen la estructura del pavimento.
Taludes	Estos varían de acuerdo a la estabilidad de los terrenos, la inclinación junto con su altura permitida se determina por ensayos y cálculos.

**Fuente:** Elaborado por los autores.

Una carretera se descompone en partes que se muestra en la Tabla N°5, en dicha tabla se definen cada una de ellas.

**Figura N° 6: Estructura básica de una carretera**



**Fuente:** (Luis, 2019)

En la Figura N° 6, se observa la estructura básica de una carretera, desde el perfil natural del terreno hasta la carpeta asfáltica.

### 2.2.3.1. Clasificación de carreteras

**Tabla N° 6: Clasificación de carreteras según su función**

RED	SISTEMA	DESCRIPCIÓN
VIAL PRIMARIA	Nacional	Conformado por carreteras que unen las principales ciudades de la nación con puertos y fronteras.
VIAL SECUNDARIA	Departamental	Constituyen la red vial circunscrita principalmente a la zona de un departamento, división política de la nación, o en zonas de influencia económica. Constituyen las carreteras troncales departamentales.
VIAL TERCIARIA O LOCAL	Vecinal	Compuesta por: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caminos troncales vecinales que unen pequeñas poblaciones.</li> <li>- Caminos rurales alimentadores, uniendo aldeas y pequeños asentamientos poblaciones.</li> </ul>

**Fuente:** (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

En la Tabla N° 6, elaborado por el MTC, se visualiza la clasificación de carreteras según su función, conformadas por un sistema nacional, departamental y vecinal ya sea una red de vial primaria, vial secundario y vial terciario respectivamente. A su vez dicha tabla define cada una de carreteras según su función.

**Tabla N° 7: Clasificación de carreteras de acuerdo a la demanda**

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
AUTOPISTAS	Carretera de <b>IMDA mayor de 4000 veh/día</b> , de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles, con control total de los accesos (ingresos y salidas) que proporciona flujo vehicular completamente continuo. Se le denominará con la sigla A.P.
CARRTERAS DUALES O MULTICARRIL	De <b>IMDA mayor de 4000 veh/día</b> , de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles; con control parcial de accesos. Se le denominará con la sigla MC (Multicarril).
CARRTEERAS DE 1RA. CLASE	Son aquellas con un <b>IMDA entre 4000-2001 veh/día</b> de una calzada de dos carriles (DC).
CARRTEERAS DE 2DA. CLASE	Son aquellas de una calzada de dos carriles (DC) que soportan <b>entre 2000-400 veh/día</b> .
CARRTEERAS DE 3RA. CLASE	Son aquellas de una calzada que soportan <b>menos de 400 veh/día</b> .
TROCHAS CARROZABLES	Es la categoría más baja de camino transitable para vehículos automotores. Construido con un mínimo de movimiento de tierras, que permite el paso de un solo vehículo.

**Fuente:** (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

En la tabla N°7, se observa la clasificación de carreteras de acuerdo a su índice medio diario anual. Mayor a 4000 veh/día; entre 4000-2001 veh/día, entre 2000 – 400 veh/día y menos de 400 veh/día; denominadas autopista, carretera de 1era clase, carretera de 2da clase, carretera de 3era clase respectivamente y de trochas carrozables cuya categoría de caminos transitables es baja.

**Tabla N° 8: Clasificación según Condiciones Orográficas**

CARRETERAS	DESCRIPCIÓN
TIPO I	Permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos ligeros. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, es menor o igual a 10%.
TIPO II	Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de las de los vehículos de pasajeros, sin ocasionar el que aquellos operen a velocidades sostenidas en rampa por un intervalo de tiempo largo. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, varía entre 10 y 50%.
TIPO III	Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir a velocidad sostenida en rampa durante distancias considerables o a intervalos frecuentes. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, varía entre 50 y 100%.
TIPO IV	Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en rampa que aquellas a las que operan en terreno montañoso, para distancias significativas o a intervalos muy frecuentes. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, es mayor de 100%.

**Fuente:** (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

En la tabla N° 8, se identifica la clasificación de carreteras según sus condiciones orográficas, esto tiene que ver de acuerdo a la inclinación transversal del terreno. Siendo de menor o igual a 10 por ciento de inclinación, tipo I; entre 10 y 50 por ciento de inclinación, tipo II; entre 50 y 100 por ciento de inclinación, tipo III y de mayor a 100 por ciento de inclinación correspondiente al tipo IV.

### 2.2.3.2. Carreteras no pavimentadas

Según el manual de carreteras MC-05-14 Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014), normalmente se hace uso de una carretera no pavimentada cuando la vía es de bajo tránsito y los EE en un periodo de 10 años son menores a trescientos mil EE.

Las carreteras no pavimentadas pueden clasificarse de acuerdo al material que se emplea en su capa de rodadura y estas pueden ser las siguientes:

Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo y finos ligantes.
Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75 mm.
Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25 mm. Pudiendo ser estos: Afirmados con gravas naturales o zarandeadas, o Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado.
Carreteras con superficie de rodadura tratada con materiales industriales: <ul style="list-style-type: none"><li>- Afirmados con superficie tratada para el control de polvo, con materiales como: cloruros, aditivos, productos asfálticos (imprimación reforzada o diferentes tipos de sello asfáltico), cemento, cal u otros estabilizadores químicos.</li><li>- Suelos naturales estabilizados con: emulsión asfáltica, cemento, cal, cloruros, geos sintéticos y otros aditivos que mejoren las propiedades del suelo.</li></ul>

**Figura Nº 7: Clasificación de carreteras no pavimentadas**

**Fuente:** (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

En la Figura N° 7, se muestra la clasificación de carreteras no pavimentadas a nivel nacional, entre los que encontramos a la carretera de tierra, gravosa, afirmada y con superficie de rodadura tratada.

#### **2.2.4. Afirmado**

Se utiliza como superficie de rodadura en camino y en carretas no pavimentadas, consta de una capa adecuadamente compacta, ya sea con material de cantera o material procesado, con el fin de soportar cargas y esfuerzos del tránsito.

##### **2.2.4.1. Dimensionamiento de afirmado**

El espesor o dimensionamiento del afirmado se podrá obtener de cualquier método de diseño que satisfaga las especificaciones de la obra, lo cual deberá ser aprobada por el MTC y el contratista. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones adopta la ecuación NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, en la actualidad llamado AUSTROADS), para obtener el dimensionamiento de espesor de afirmado y que está en función del CBR (California Bearing Ratio) y los ejes equivalentes (EE) definidos como la carga actuante sobre el afirmado.

- Ecuación NAASRA:

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log_{10} \left( \frac{N_{rep}}{120} \right)$$

e = espesor de la capa de afirmado

CBR = valor del CBR de la sub rasante

Nrep = número de repeticiones de EE para el carril de diseño

Una subrasante adecuada cumple con un CBR mayor a 6 por ciento hasta un CBR mayor a 30 por ciento y un tráfico con número de repeticiones de hasta 300000 EE. De lo contrario se denominará una subrasante pobre (CBR menor a 6 por ciento), que conlleva al uso de estabilizantes.

**Tabla N° 9: Cuadro resumen - relación entre CBR y EE**

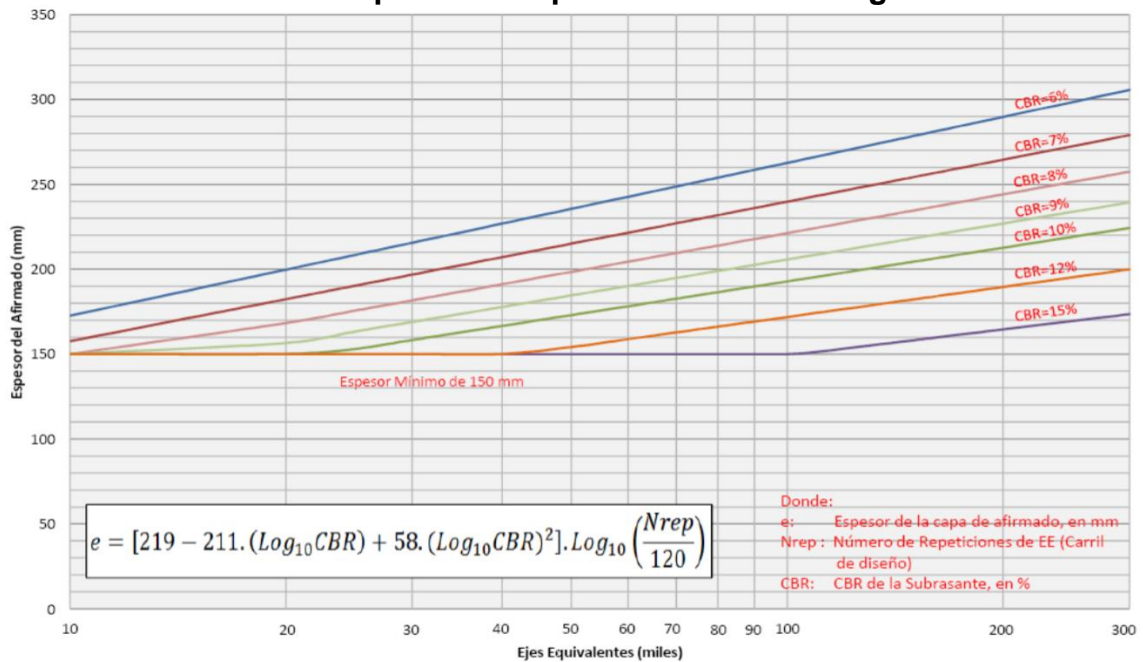
CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
	ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																		
6	200	200	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
> 30 *	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

**Fuente:** MTC (2104)

Según la tabla N°9, se podrá determinar el espesor del afirmado en milímetros, esto dependiendo de la relación entre California Bearing Ratio (CBR) y Ejes Equivalentes (EE). Particularmente es una forma de obtener el espesor sin la necesidad de efectuar la ecuación de NAASRA.



**Tabla N° 10: Espesor de capa del revestimiento granular**



**Fuente:** MTC (2014) En base al método NAASRA.

La Tabla N° 10, es una representación gráfica de la ecuación de NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities), con un espesor mínimo de 150 mm.

#### 2.2.4.2. Catálogo de capas de Revestimiento Granular

En la Tabla N°11, observamos el catálogo de capas de afirmado del 2014 realizado por el MTC, en cuyo cuadro se muestra de manera gráfica el espesor de afirmado teniendo en cuenta el CBR del suelo. Cuando el CBR es menor a 6 por ciento se visualiza el espesor de afirmado y el espesor de estabilizador que debería tener, ya que el suelo es inestable.

**Tabla N° 11: Catálogo de capas de afirmado (Revestimiento Granular)**

CBR %	EE	Tnp1	Tnp2	Tnp3	Tnp4
		< 25,000	25,001-75,000	75,001-150,000	150,001-300,000
CBR < 6%					
6% < CBR < 10%	CBR 6%-8%				
	CBR 8%-10%				
10% < CBR < 20%	CBR 10%-12%				
	CBR 12%-20%				
20% < CBR < 30%	CBR 20%-30%				
CBR ≥ 30%					

**Afirmado**

**Fuente: Elaboración propia en base a ecuación NAASRA.**

**Nota:** 1. (\*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.  
 2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.  
 3. Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año.  
 4. En la etapa de Operación y Conservación vial, efectuar Perfilado periódicamente por lo menos una vez cada año y control de polvo mediante riego de agua, asfalto, cloruro, aditivos químicos u otros.

**Fuente:** (Manual de carreteras el MC-05-14 Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos, 2014, p.122).

## **2.2.5. Canteras y materiales para construir el afirmado**

### **2.2.5.1. Materiales para afirmado**

El material a utilizar varía según la región y los sitios de agregados donde se encuentre el proyecto; cantera de cerro o de río, la diferencia se da en el uso, ya sea para una capa superficial o capa inferior. El afirmado consta de una mezcla de tres tipos de material: arena, arcillas o fino y piedra. Para que no se produzca un afirmado pobre debe existir una buena mezcla de estos tres componentes.

Para un excelente afirmado, como ya se mencionó, cuenta con la combinación adecuada de piedra, arena y finos. Porcentaje de piedra para el soporte de las cargas, porcentaje de arena clasificada, teniendo en cuenta el tamaño, para llenar los vacíos entre las piedras y efectuar mayor estabilidad a la capa y el porcentaje de finos para adherir los materiales de la capa de afirmado. (Montes, 2010)

### **2.2.5.2. Fuente de materiales – Canteras**

Es complicado obtener lugares o depósitos de material con una graduación idónea para que el material a utilizar fuera puesto en obra directamente y evitar realizar la granulometría o zarandeo para obtener los tamaños especificados.

Una cantera es una explotación minera, a cielo abierto, en las que se obtienen materiales de afirmado de las carreteras. La selección de canteras es de acuerdo a su calidad, cantidad y su ubicación con respecto a la obra. Se realizan prospecciones a base de calicatas en las canteras para obtener el análisis y ensayos de laboratorio, consecuentemente, se elabora un informe geotécnico de las canteras. (Montes, 2010). Estos informes deben tener como mínimo lo siguiente:

- Ubicación y potencia(cantidad) de la cantera.
- Estado de la prospección; nivel freático, taludes, pendientes, entre otros.
- Características principales de la muestra que puedan obtenerse para definir su función; afirmado, carpeta asfáltica, concreto, otros.
- Condiciones de humedad, sobre tamaño; condiciones que puedan limpiar su uso.
- Propiedades y disponibilidad de uso de la cantera.

El Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito, define que a mayor tránsito pesado, se efectuara el uso de afirmado de buen rendimiento y que el aumento en precio del proyecto debe fomentar el uso de materiales locales para abatar la obra o en todo caso justificar la palicaion de afirmado con estabilizadores.



**Imagen N° 2: Obtención de material para el afirmado de carretera  
Tramo de Tacta – Gomal, Mariscal Castilla**

**Fuente:** Fotografía tomada por los tesistas.

En la imagen N° 2, se muestra una fotografía tomada en el sector de Mariscal Castilla, en el tramo de Tacta - Gomal; cuya actividad que se estaba realizando era la extracción de material para afirmado de la carretera de dicho tramo.

## **2.2.6. Obras ejecutadas en carreteras no pavimentadas**

### **2.2.6.1. Mantenimiento de carreteras no pavimentadas**

El mantenimiento vial es un sinnúmero de actividades que se realizan para que las condiciones físicas de los elementos de un camino se mantengan en buen estado; por ende, garantizar que la movilidad de los vehículos sea de manera segura, económica y cómoda. (Manual técnico de mantenimiento rutinario para la red vial departamental no pavimentada, 2006, p. 8). Según el SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS (SINAC), en el país, existen mayor porcentaje de carreteras no pavimentadas; lo cual, en su mayoría se definen por tener una superficie de rodadura de material granular.

### **2.2.6.2. Mantenimiento rutinario**

Son actividades ejecutadas a lo largo del camino que se realizan diariamente en los diferentes tramos del mismo. Su propósito principal es la conservación de los elementos del camino sin daños o alteraciones, en otras palabras, mantener las mismas condiciones después que fue ejecutada. Entre sus mantenimientos están incluidos la limpieza adecuada de los drenajes, vegetación y/o reparaciones de los defectos de la plataforma. También se incluyen en el mantenimiento vial rutinario las actividades socio ambientales, cuidado y vigilancia del camino. (Manual técnico de mantenimiento rutinario para la red vial departamental no pavimentada, 2006).

### 2.2.6.3. Mantenimiento periódico

Son actividades que se ejecutan en periodos, de mas de un año y su finalidad; preservar la integridad estructural del camino y corregir defectos puntuales mayores. Estos mantenimientos consisten en la reconfiguración de la plataforma y reparación de los componentes físicos de la vía. También se incluyen en el mantenimiento vial rutinario las actividades socio ambientales, cuidado y vigilancia del camino. (Manual técnico de mantenimiento periódico para la red vial departamental no pavimentada, 2006).

### 2.2.6.4. Conservación de carreteras

Dentro de las labores de conservación tenemos la conservación propiamente dicha, esta impide la aparición de deterioros, denominado conservación preventiva y conservación curativa cuando se actúa lo antes posible cuando los esos deterioros han aparecido o reparación de defectos localizados. La entidad que está a cargo de la conservación de las carreteras, es el estado. Este se divide según el tipo de red vial, que son las siguientes

**Tabla N° 12: Entidad encargada de la protección de carreteras según el tipo de red vial**

<b>TIPO DE RED VIAL</b>	<b>ENTIDAD</b>
Para la red vial <b>nacional</b>	MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
Para la red <b>departamental</b> o <b>regional</b>	EL GOBIERNO REGIONAL A TRAVÉS DE SU UNIDAD EJECUTORA DE LA GESTIÓN VIAL
Para la red vial <b>vecinal</b> o <b>rural</b>	LOS GOBIERNOS LOCALES A TRAVÉS DE SUS UNIDADES EJECUTORAS DE GESTIÓN VIAL

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la tabla N° 12, encontramos las entidades encargadas de la protección de las carreteras, ya sea para la red vial, departamental y vecinal o rural cuyas entidades encargadas son el MTC, gobierno regional o gobiernos locales respectivamente.

#### **2.2.6.5. Rehabilitación de las carreteras no pavimentadas**

Las rehabilitaciones de una carretera no pavimentada van de la mano con el comportamiento de la carretera. Las rehabilitaciones pueden referirse a:

**Tabla N° 13: Tipo de rehabilitaciones de carreteras**

Rehabilitaciones superficiales	Por ejemplo: Disminuir o eliminar el nivel de polvo que empieza a presenciarse luego de un tiempo después de haberse aplicado el estabilizador.
Rehabilitaciones significativas	Por ejemplo: Cuando se opta por cambiar el aditivo estabilizador por otro.
Rehabilitaciones estructurales	Por ejemplo: Cuando se ensancha la carretera o se opta por la pavimentación

**Fuente:** MTC-2014

En la Tabla N°13, explica mediante ejemplos los tipos de rehabilitaciones que existen en carreteras, siendo estas superficiales, significativas y estructurales.



**Imagen N° 3: Trabajo de afirmado Tramo de Tacta – Gomal, Mariscal Castilla**

**Fuente:** Fotografía tomada por los tesisistas.

En la imagen N.º 3, se visualiza una fotografía donde se aprecia el trabajo de enrasamiento con ayuda de la motoniveladora, esto siendo el proceso de afirmado para el sector de Tacta – Gomal, perteneciente el distrito de Mariscal Castilla.

### **2.2.7. Subrasante**

Denominado capa superficial del terreno natural. Su capacidad de reacción ante una fuerza constituye las variables básicas para el diseño del afirmado, que se colocará del terreno natural. (MTC-Dirección General de caminos y Ferrocarriles, 2005).

Se identificarán seis categorías de subrasante:



**Tabla N° 14: Categoría de la subrasante**

Categorías de Sub rasante	CBR
S <sub>0</sub> : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

**Fuente:** (Suelos, 2014)

De acuerdo a la tabla N° 14, el CBR mínimo de subrasante deberá ser igual a 6por ciento para que dicha subrasante sea aceptada y usada como tal.

Si el CBR obtenido, en los ensayos de laboratorio, es igual o mayor al 6por ciento, será un suelo adecuado para la coronación de la subrasante, de lo contrario, se deberá colocar un material con CBR mayor al 6por ciento, para obtener una mejor capacidad portante. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

### **2.2.8. Estabilización de carreteras no pavimentadas**

Existen diversas formas de estabilizar un suelo, cada método tiene diferentes tipos de estabilizadores; el cloruro de magnesio, cloruro de calcio, cloruro de sodio, cemento, entre otros. La capacidad portante del suelo debe cumplir ciertas características superiores a los valores de diseño establecido, de lo contrario, si las características del CBR muestran valores inferiores se colocará la estabilización correspondiente del suelo. (MTC-Dirección General de caminos y Ferrocarriles, 2005).

Se debe tener en cuenta, los siguientes factores para efectuar la estabilización:

- Cantidad del estabilizador a utilizar y agua
- Densidad del suelo y espesor de capa a estabilizar

Realizar una estabilización es prácticamente efectuar un mejoramiento del suelo, aumentar su durabilidad, mejorar su contacto con el agua, aumentar su resistencia y otros aspectos. Entre los métodos generales para la mejora de suelos tenemos:

**Tabla N° 15: Métodos generales de suelos**

<b>Métodos</b>	<b>Físicos</b>	Confinamiento (suelos no cohesivos).
		Preconsolidación (suelos cohesivos).
		Mezclas (suelo con suelo).
		Vibroflotación.
	<b>Químicos (Estabilizaciones)</b>	Con cemento.
		Con asfalto.
		Con sal.
		Con cal.
		Con otras sustancias: (Sales como la Bischofita).
	<b>Mecánicos</b>	Compactación.

**Fuente:** (La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, 1984)

En la tabla N°15 se explica los métodos de suelos que usan para la mejora de suelos estos pueden ser físicos mediante confinamiento para suelos no cohesivos, químicos mediante estabilizaciones y mecánicos mediante compactación.

#### **2.2.8.1. Estabilización de suelos con cloruro de calcio**

El cloruro de calcio genera una mayor resistencia propia del suelo, ayuda al proceso de compactación, evita que el suelo se desmorone, y disminuye el polvo del suelo. La dosificación es de 1 por ciento a 2 por ciento de cloruro de calcio con respecto al peso del suelo seco. (Suelos, 2014)

El procedimiento de estabilización inicia con la escarificación del camino con ayuda de la motoniveladora, luego se evalúa la humedad del suelo con el fin de obtener la dosificación idónea de agua y mezclarlo con el cloruro. Después se realizará el regado a lo largo y ancho de la vía, de manera uniforme. Una vez realizado el regado proseguimos a homogeneizar el suelo y finalmente se compacta el suelo.

#### **2.2.8.2. Estabilización de suelos con cloruro de magnesio (Bischofita).**

Es un cloruro que aplicado a los suelos ayuda a disminuir el deterioro superficial de la carpeta de rodadura debido a su alta higroscopía que permite tener conglomerado los granos y finos del material de rodadura. Es utilizado para la estabilización de suelos y también es un buen agente de control de polvo.

La dosificación para el uso de la bischofita como estabilizador de subrasante esta comprendida entre 3 por ciento a 5 por ciento respecto al peso del material granular. El porcentaje a incorporar de este agente dependerá del IP del suelo. Presenta una alta solubilidad en agua por lo que también es usada como supresor de polvo al añadirse a la carpeta de rodadura por riego. Para controles de polvo la dosis promedio es de 3 kg/m<sup>2</sup>. (CAMPOS & ESPINOSA, En Memorias del 8<sup>a</sup> Congreso Internacional Provincial, 2006).

### **2.2.9. Supresores de polvo**

La finalidad del uso de supresores de polvo en los caminos no pavimentados es evitar que las partículas finas del material superficial no se desprendan, con ello se obtiene una superficie de vía muy buena que permite reducir costos en combustible y alargar la vía útil de vehículos. Esto también se manifiesta en la mejora de calidad de vida de las personas y comunidades cercanas.

Los supresores de polvo que se emplean en caminos de afirmado van desde el uso de agua, sales y cloruros hasta el uso de polímeros sintéticos y productos bituminosos como asfaltos o emulsiones asfálticas recicladas y otros productos orgánicos no bituminosos. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Todos estos materiales supresores de polvo requieren de estudios ingenieriles, sociales y económicos previo a su uso.

#### **2.2.9.1. Cloruro de magnesio como supresor de polvo**

El cloruro de magnesio o bischofita es de color blanco y grasoso al tacto debido a la gran cantidad de humedad que posee. La densidad con la que se suele regar es de 1.25gr/cm<sup>3</sup>, lo cual se adquiere disolviendo el cloruro de magnesio usando una motobomba. Además, la velocidad con la que el camión disperse el supresor de polvo debe estar comprendida entre 30 m/h – 35km/h.

Este supresor de polvo es apto para climas áridos. Su duración antes de mantenimiento puede ser de hasta 4 meses e incluso podría prolongarse más si las lluvias son bajas. (Campos Dinamarca & Espinosa Orellana, 2006).

#### **2.2.9.2. Cloruro de calcio como supresor de polvo.**

El cloruro de calcio como supresor de polvo, se caracteriza por absorber la humedad de la zona en función a la temperatura de su entorno y

una humedad referente. Es más operativo en ambientes que tienen una humedad alta y temperaturas bajas. Inicia su absorción de agua al 29 por ciento de humedad referente a 25°C y 20 por ciento a 38 por ciento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

#### **2.2.9.3. Cloruro de sodio como supresor de polvo**

En zonas áridas; el cloruro de sodio no se recomienda usar como mitigante de polvo, porque cuando la humedad supera los 75 por ciento, solo así absorbe agua. Además, no conlleva a una superficie totalmente dura. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

#### **2.2.9.4. Polímeros como supresor de polvo**

Los polímeros fortifican y genera un incremento en la tensión de rotura en diez veces del camino. Se aconseja utilizar en zonas secas porque se puede mantener su densidad compactada. Sin embargo, ante la disposición de temperaturas negativas y agua propende a fallar. En otras palabras, los polímeros sirven únicamente para lograr una compactación adecuada y que al saturar la zona de trabajo no impiden la mitigación de polvo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

#### **2.2.9.5. Agua como supresor de polvo**

Esto es una medida temporal, depende de la humedad y temperatura. Para un clima caluroso y seco no es nada favorable ya que su porcentaje de verificación de polvo se estima en un 40 por ciento y en corto tiempo decrece de cien a cero en porcentaje. (Campos Dinamarca & Espinosa Orellana, 2006)

#### **2.2.10. Estudio topográfico**

El estudio topográfico se encuentra presente para realizar un diseño de proyectos, para ejecutar una obra y/o para fines de replanteo de obras.

Las áreas que requieren de estos estudios van desde la construcción, minería, entre otros.

El estudio topográfico en cualquier proyecto pretende mostrar de manera gráfica el terreno a levantar, de tal forma que represente su planimetría (ejes X, Y) y la altimetría (Z).

Existen muchas formas de obtener la topografía de un terreno, los equipos que se utilizan para ello van desde un teodolito simple hasta un vuelo con drones. Para cada proyecto, dependiendo su significancia, hay un equipo topográfico destinado y esto hace fácil el poder generar la topografía de determinado lugar. (RICO RODRIGEZ & DEL CASTILLO, 1984)

#### **2.2.11. Tráfico**

El índice medio diario anual (IMDA) realiza el estudio de tráfico, requiriendo los índices de variación mensual, información que el MTC dispone de los datos obtenidos por los peajes (cantidad y peso). Para la planificación y diseño de aspectos que conduce a una buena viabilidad, como son el diseño de plataforma de camino y pavimento; se debe tener en cuenta el conocimiento de la demanda de tráfico, de lo contrario, afectará a la estructura vial durante el tramo del análisis vial adoptado. (Velasco, 2017).

##### **2.2.11.1. Metodología para el estudio de la demanda de tránsito**

- **El índice medio diario anual de tránsito (IMDA).**

Los estudios de tránsito pueden estar sujetos a dos tipos de situaciones, primero que se realice el estudio para vías existentes o lo otro cuando no existan y se pretenda hacer una nueva carretera.

Cuando se desee realizar una proyección de tránsito, en el caso de las vías existentes la proyección se obtiene con la tasa de crecimiento de

vehículos que circulan por la vía existente. Por otro lado, cuando la vía a elaborar será nueva habrá que realizar estudios de índole económico en la zona y región que abale dicho estudio.

Para diseñar el camino es necesario obtener la demanda diaria que servirá dicho camino, para ello se deberá realiza un conteo vehicular y proyectarlo con una tasa de crecimiento tanto para vehículos ligeros como para vehículos pesados. (MTC-Dirección General de caminos y Ferrocarriles, 2005).

- **Volumen y clasificación de los vehículos.**

Para obtener el volumen de tránsito vehicular se debe buscar tramos de la vía que presenten una demanda homogénea. Encontrados lo tramos, se ubica una estación de conteo al centro del tramo y después se toma nota en una cartilla la cantidad y tipos de vehículos que van pasando, teniendo en cuenta el sentido de flujo (entrada o salida) y la hora.

Para el conteo la cartilla previamente elaborad deberá ser tal que facilite el llenado de datos. (MTC-Dirección General de caminos y Ferrocarriles, 2005).

#### **2.2.11.2. La velocidad de diseño y su relación con el costo del camino**

Con la velocidad de diseño se va a establecer las características del trazo de la carretera tanto el planta, perfil y secciones transversales. Es importante pues de con ello se podrá diseñar el eje de la carretera, sea en los tramos en tangente, curvos o espirales.

También, la velocidad de diseño define las distancias de visibilidad en la circulación, lo cual involucra la seguridad de los usuarios de la

vía en todo su recorrido. (MTC-Dirección General de caminos y Ferrocarriles, 2005).

- **Determinación de la velocidad de diseño**

La elección de una velocidad de diseño dependerá de un análisis técnico-económico respecto al trazado del eje de la vía, teniendo en cuenta la orografía del lugar. En terrenos planos es factible elegir velocidades altas por la gran longitud de tramos rectos y pocas curvas las cuales tendrán un bajo costo de ejecución. Pero, en terrenos donde haya pendientes fuertes (terrenos accidentados) las velocidades de diseño altas implicarían un costo muy elevado tanto en construcción y mantenimiento de la vía. (MTC-Dirección General de caminos y Ferrocarriles, 2005).

- **Velocidad de circulación**

La velocidad de circulación deberá ser respetado por los clientes de la vía, para el mantenimiento y mejora de calidad de servicio, con señalización adecuada para su buen uso y servicio.

La velocidad de circulación o de marcha estará estipulada en la señalización de la vía y esta permitirá restringir la velocidad máxima a respetar por los usuarios.

### **2.2.11.3. Ejes Equivalentes**

Los ejes equivalentes, también denominados ESAL "equivalente simple axial load", está referida al N<sup>o</sup> de repeticiones de un EE de carga 8.2 toneladas. Estos ejes equivalentes establecen la cantidad de pasadas de ejes y a su vez el daño que influirá el paso de los vehículos.



Para el cálculo del ESAL se usará la guía AASHTO 93, la cual brinda las siguientes tablas:

**Tabla N° 16: Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE) Para Afirmado, Pavimento Flexible y Semirrígidos**

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE <sub>8.2 tn</sub> )
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	$EE_{S1} = [ P / 6.6 ]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	$EE_{S2} = [ P / 8.2 ]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TA1</sub> )	$EE_{TA1} = [ P / 14.8 ]^{4.0}$
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TA2</sub> )	$EE_{TA2} = [ P / 15.1 ]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TR1</sub> )	$EE_{TR1} = [ P / 20.7 ]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TR2</sub> )	$EE_{TR2} = [ P / 21.8 ]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

**Fuente:** (Guía AASHTO 93)

En la Tabla N° 16, se observa la relación de cargas por eje, de acuerdo al tipo de eje del vehículo se le aplica el eje establecido; de este modo se determina el número de ejes equivalentes. Se utiliza esta tabla para afirmado, pavimento flexible y semirrígido.

**Tabla N° 17: Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE) Para pavimento Rígidos**

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE <sub>8.2 tn</sub> )
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	$EE_{S1} = [ P / 6.6 ]^{4.1}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	$EE_{S2} = [ P / 8.2 ]^{4.1}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TA1</sub> )	$EE_{TA1} = [ P / 13.0 ]^{4.1}$
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TA2</sub> )	$EE_{TA2} = [ P / 13.3 ]^{4.1}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TR1</sub> )	$EE_{TR1} = [ P / 16.6 ]^{4.0}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TR2</sub> )	$EE_{TR2} = [ P / 17.5 ]^{4.0}$
P = peso real por eje en toneladas	

**Fuente:** (Guía AASHTO 93).

En la Tabla N° 17, se observa la relación de cargas por eje, de acuerdo al tipo de eje del vehículo se le aplica el eje establecido; de este modo

se determina el número de ejes equivalentes. Se utiliza esta tabla únicamente para pavimento rígido.

#### 2.2.11.4. Número de repeticiones de Ejes Equivalentes

Se debe tener en cuenta el factor direccional y el factor carril.

- a. Factor direccional: corresponden a la cantidad de vehículos pesados que transitan en un sentido de tráfico, por lo general corresponde a la mitad del total de tránsito circulante en ambos sentidos y se definirá según la cuantificación de tráfico.
- b. Factor carril: pertenece al carril que recoge el mayor número de EE, cuya dirección se canaliza, en su mayoría, por ese carril.

**Tabla N° 18: Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño**

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Fuente: (Guía AASHTO 93, 1993)

La tabla N° 18 muestra los factores de distribución direccional y de carril según el número de carriles y sentido de la vía. Para determinar el número de repeticiones de ejes equivalentes (Nrep) se emplea lo siguiente:

$$N_{rep} \text{ de EE } 8.2 \ t = \sum \frac{[E_{dia.carril} \times 3665 \times (1 + t)^{n-1}]}{t}$$

$$EE_{dia.carril} = EE \times \text{Factor direccional} \times \text{Factor Carril}$$

Nrep de EE 8.2 t : Número de repeticiones de Ejes Equivalentes

EE dia.carril : Ejes equivalentes por día para el carril de diseño

365 : Número de días del año

t : tasa de proyección del tráfico, en centésimas

EE : Ejes equivalentes

Factor Direccional : 0.5 corresponde a caminos de dos direcciones

Factor Carril : 1, corresponde a un carril por dirección o sentido

Fact presión de llantas : 1, este valor se estima por los CBVT y con capa de revestimiento granular

$$EE = N^{\circ} \text{ de vehículos según tipo} \times \text{Factor de carga} \times \text{Factor de presión de llantas}$$

De acuerdo a la determinación de año de vida, se estimula una proyección se entre de 5 y 10 años como indica la Tabla N°19.

En la tabla N°19 se presenta los números de repeticiones de ejes equivalentes ya calculados para un periodo de 5 y 10 años. Para obtener dichos valores previamente se debe conocer el IMDa total y la cantidad de vehículos pesados que pasaran por el carril de diseño.

**Tabla N° 19: Nrep para periodos de 5 y 10 años**

IMDa (total ambos sentidos)	Veh.Pesados (carril de diseño)	5 años (carril de diseño)		10 años (carril de diseño)	
		II° Repeticiones EE 8.2 tn	II° Repeticiones EE 8.2 tn	II° Repeticiones EE 8.2 tn	II° Repeticiones EE 8.2 tn
10	3	13,565	1.36E+04	15,725	1.57E+04
20	6	27,130	2.71E+04	31,451	3.15E+04
30	9	40,695	4.07E+04	47,176	4.72E+04
40	12	56,197	5.62E+04	65,148	6.51E+04
50	15	67,824	6.78E+04	78,627	7.86E+04
60	17	75,576	7.56E+04	87,613	8.76E+04
70	20	96,892	9.69E+04	112,324	1.12E+05
80	23	104,643	1.05E+05	121,310	1.21E+05
90	26	122,084	1.22E+05	141,528	1.42E+05
100	28	131,773	1.32E+05	152,761	1.53E+05
110	31	147,275	1.47E+05	170,733	1.71E+05
120	34	160,840	1.61E+05	186,458	1.86E+05
130	37	172,467	1.72E+05	199,937	2.00E+05
140	40	187,970	1.88E+05	217,909	2.18E+05
150	43	203,473	2.03E+05	235,881	2.36E+05
160	45	209,286	2.09E+05	242,620	2.43E+05
170	48	226,727	2.27E+05	262,838	2.63E+05
180	51	236,416	2.36E+05	274,071	2.74E+05
190	54	253,856	2.54E+05	294,289	2.94E+05
200	56	265,483	2.65E+05	307,768	3.08E+05
250	71	335,245	3.35E+05	388,641	3.89E+05
300	84	399,194	3.99E+05	462,775	4.63E+05
350	99	468,956	4.69E+05	543,648	5.44E+05
400	112	529,029	5.29E+05	613,289	6.13E+05

**Fuente:** (MTC-Dirección General de caminos y Ferrocarriles, 2005).

### 2.2.12. Variables climáticas

Los parámetros climáticos también deben conocerse para realizar el diseño geométrico. La siguiente información se extraerá del SENHAMI

- Precipitación
- Temperatura
- Humedad

#### 2.2.10.1. Precipitación

Se entiende por precipitación a cualquier tipo de humedad que se genera en las nubes y llegan a caer a la superficie. Entonces una

información de precipitación estará dada por lluvias, nevadas, granizadas, garuas, entre otros.

### **2.2.10.2. Temperatura**

Para obtener la temperatura, son las estaciones meteorológicas las que registran mediante un termógrafo la temperatura máxima y mínima.

Par proveer la información de temperatura, se suele promediar el valor de la temperatura máxima y mínima, y de esta manera dar el valor de temperatura diaria.

Si se desea obtener la temperatura media anual o mensual se calcula la media aritmética de las temperaturas medias diarias del tiempo en cuestión. El mismo procedimiento se usa para el cálculo de las temperaturas máximas y mínimas.

### **2.2.10.3. Humedad**

La humedad representa la cantidad de vapor de agua en la atmosfera y dicho vapor proviene de la evaporación de agua de ríos, lagunas, océanos, los suelos húmedos o plantas.

El uso de la humedad se da en la hidrología para determinar donde se origina el agua que cae a la superficie y para tener conocimiento de la velocidad en que se evapora las aguas de la superficie.

## **2.3. Definición de términos básicos**

**Afirmado:** Se define como una capa de material natural extraído de una cantera, que es procesado y va encima de la rasante del camino. Sirve como capa de rodadura en caminos de bajo tránsito y no pavimentados. Dependiendo del lugar de proyecto, al no cumplir con los estándares de un afirmado requiere de una estabilización. (MTC-Dirección General de caminos y Ferrocarriles, 2005).

**Camino:** tramo del camino elaborada para el paso de vehículos. (MTC 2005).

**Material de cantera:** Material colocado en sectores de construcción de obra ofreciendo características específicas, su ubicación debe encontrarse cerca al proyecto por tema netamente económico y en volumen significativo. (MTC – 2005).

**Mantenimiento periódico:** Recuperación de las condiciones originales del camino cada cierto periodo, el mantenimiento se realiza mayor e igual a 1 año, comprende la reconfiguración del ancho y largo de la capa granular mediante sistemas de escarificado, perfilado y compactado, reducir la rugosidad, mejorar su drenaje superficial y trazos necesarios (MTC – 2005).

**Mantenimiento rutinario:** actividades realizadas antes de entregar la obra completa, conservando su estado de transitabilidad y evitar un pronto deterioro. (MTC -2005).

**Mejoramiento del camino:** mejoras de las secciones longitudinales y transversales del camino; el ancho, pendiente, curvatura, establecer una mejor seguridad para los vehículos. Además, la ampliación de calzada, ejecución de estructuras como puentes y alcantarillas de gran tamaño. (MTC - 2005).

**Pendiente del camino:** ángulo de inclinación del eje del tamo, a lo largo del sentido de avance.

**Proyecto:** Conjunto de estudios y planos de diseño realizados para el proceso de ejecución de la obra; derecho de vía a ser utilizado; partidas, especificaciones técnicas, A.P.U, metrado de partidas de obra, presupuesto; memoria descriptiva; y las coordinaciones y aprobaciones que se requieren de las diversas autoridades involucradas en forma directa o indirecta para con la obra. (MTC-Dirección General de caminos y Ferrocarriles, 2005).

**Subrasante (capa de):** la plataforma a nivel de terreno natural sobre la que ira la estructura del afirmado (MTC-2005).

**Subrasante (nivel de):** cota del eje del camino, antes de la colocación del afirmado. (MTC-2005).

**Tránsito:** circulación de vehículos por el camino (MTC-2005).

**Vehículos automotores pesados y livianos:** denominados a los vehículos pesados con un peso bruto mayor a 2.5 tn y livianos hasta 2.5 tn. (MTC-2005)

**Tramo:** comprenden dos puntos cualesquiera de un camino.

**Granulometría:** Distribución de los tamaños que posee la muestra mediante el tamizado según especificaciones técnicas. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

**Análisis granulométrico o mecánico:** Procedimiento para determinar distribución de tamaños de una muestra. MTC, 2016.

**Tamiz:** Instrumento de laboratorio cuya función permite separar tamaños de material, y donde las aberturas son cuadradas. (ICG, 2000)

**CBR:** valor que indica el soporte de un suelo o material, la cual se obtiene con la penetración de una fuerza vertical hacia una masa; realizado en un laboratorio.

**Estabilización de suelo:** mejoramiento de un suelo mediante la adición de productos naturales, sintéticos o químicos.

**Resistencia:** capacidad de soporte máximo de una masa ante una fuerza ejercida sobre esta.

**Calicata:** son pozos exploratorios o excavaciones que se realizan en una zona determinada con el fin de extraer muestras que definirán las características del mismo; realizado en un laboratorio.

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte. (MTC, 2014)

**Curva de compactación (curva de Proctor):** Representación gráfica de la relación de densidad máxima seca y el óptimo contenido de humedad. MTC, 2014.

**Límite líquido:** cantidad de agua del suelo que cambia de estado plástico y el líquido de un suelo. (LMS-FIC-UNI, 2004)

**Límite plástico:** Cantidad de agua de un suelo que cambia de estado plástico y el semisólido. (LMS-FIC-UNI, 2004)

**MTC:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

#### **2.4. Marco normativo**

Para la elaboración de este proyecto se trabajó con normas nacionales.

- Manual de carreteras del MTC.
- Manual de ensayos de laboratorio del MTC.
- Norma Técnica Peruana (NTP) - Suelos
- Normas ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales).

En la tabla N°20, se menciona los ensayos que se utilizaran en este proyecto desde el análisis granulométrico hasta el California Bearing Ratio (CBR) con su respectiva norma para los procedimientos correctos de este informe.



**Tabla N° 20: Normatividad de los ensayos**

<b>ENSAYOS</b>	<b>NORMAS MTC</b>	<b>REFERENCIAS NORMATIVAS</b>
Análisis Granulométrico de suelos por tamizado	MTC E 107	ASTM D422
Determinación del contenido de humedad de un suelo	MTC E 108	ASTM D2216
Determinación de Límite Líquido de los suelos	MTC E 110	NTP 339.129
Determinación del Límite Plástico (L.P.) de los suelos e Índice de Plasticidad (I.P.)	MTC E 111	NTP 339.129
Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)	MTC E 115	NTP 339.141
		ASTM D1557
California <del>Bearing</del> Ratio CBR de suelos (Laboratorio)	MTC E 132	ASTM D1883

**Fuente:** Elaborado por los autores.

## **2.5. Hipótesis**

### **2.5.1. Hipótesis general**

- Se diseñará un camino básico para mejorar la transitabilidad vehicular en las calles de La Cooperativa La Unión– Lurigancho – Chosica con un presupuesto inferior a 40 soles por metro cuadrado.

### **2.5.2. Hipótesis específicas**

- Las características y comportamientos que presenta el suelo de La Cooperativa La Unión– Lurigancho – Chosica son los adecuados.

- El suelo de la Cooperativa La Unión– Lurigancho – Chosica mejorará su CBR alcanzando un valor de entre 8por ciento y 12 por ciento frente a la incorporación de cloruro de magnesio y cloruro de calcio.
- El cloruro de magnesio con una dosificación de 3 por ciento será el que mejor estabilice el suelo de la Cooperativa La Unión– Lurigancho – Chosica con el fin de obtener un camino básico menos costoso.
- La superficie de rodadura de afirmado y tratado con supresor de polvo es el más adecuado para las calles de la cooperativa La Unión- Lurigancho- Chosica.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

La presente investigación será de Tipo Aplicada, debido a que se usaron los conocimientos de manual de carreteras del MTC, para ser aprovechado y diseñar un camino basándose en las normas del mismo, cumpliendo con los estándares y especificaciones adecuadas; conllevando beneficios a una sociedad.

#### **3.2. Nivel de investigación**

Según (R, Fernández, & Baprista, 2010) determinó la relación de niveles de un estudio de investigación, los cuales se mencionan a continuación.

- Nivel explorativo.
- Nivel descriptivo.
- Nivel correlacional.
- Nivel explicativo.

La tesis se basa en el nivel descriptivo y explicativo, ya que se sustentarán diferentes trabajos extraídos en campo, laboratorio y gabinete. Nivel descriptivo por que se describirá diferentes factores como propiedades del suelo y afirmado, clima, tráfico vial, entre otros.

De igual manera (Balestrini, 2006) nos dice que el nivel explicativo es aquel que tiene una relación causal, no sólo persigue describir o acercarse a un problema, sino que intenta encontrar las causas del mismo.

### **3.3. Diseño de la investigación**

El presente estudio tendrá un diseño Experimental, porque cada uno de los ensayos han sido realizados por los autores, siguiendo los procedimientos del manual de “Ensayos de Laboratorio” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Con la finalidad de obtener la explicación y el estudio del suelo, desde el nivel granulométrico hasta su capacidad portante conociendo su estructura y los aspectos que intervienen en la dinámica de aquellos.

### **3.4. Variables**

#### **3.4.1. Variables Independientes**

- Diseño de un camino básico.

#### **3.4.2. Variables Dependientes**

- Transitabilidad Vehicular

### **3.5. Población y Muestra**

#### **3.5.1. Población**

El tramo aplicado está ubicado en el departamento de Lima, distrito de Lurigancho – Chosica. Se considera para la presente investigación la longitud aproximada de 490 m.

#### **3.5.2. Muestra**

Se determinó como muestra la evaluación de las propiedades de suelos de las subrasantes de las carreteras y material de las canteras para determinar los comportamiento físico-mecánico para el uso como material de

afirmado mejorado. La cantidad de ensayos se detallan en la Tabla N°19, que comprende ensayos de afirmado natural y estabilizado.

**Tabla N° 21: Cantidad de muestras**

Descripción	Cant.	Ensayos	Total, Ensayos	Muestras	Total, Muestras
<b>Suelo Natural</b>					
Clasificación de suelos SUCS, AASHTO.	2	1	2	1	2
Proctor Modificado	2	1	2	1	2
CBR	2	1	2	1	2
<b>Suelo Estabilizado</b>					
Proctor Modificado	2	3	6	1	2
CBR	2	3	6	1	2

**Fuente:** Elaborado por los autores

(\*) Clasificación de suelos SUCS, AASHTO: comprende los ensayos de Granulometría, Límites de consistencia y Contenido de Humedad.

En la Tabla N°21, se indica la cantidad de ensayos y muestras que se realizaran en el laboratorio de suelos tanto para con el suelo natural y estabilizado.

### **3.6. Técnicas, procedimientos e instrumentos**

En la Tabla N° 22, se observa las técnicas, procedimientos e instrumentos utilizados para la elaboración del presente proyecto. Todos los datos se obtuvieron en el distrito Lurigancho-Chosica, llamado área de intervención. Desde las calicatas, pasando por ensayos en el laboratorio y finalmente trabajado en gabinete.

**Tabla N° 22: Técnicas, procedimiento e instrumentos**

<b>TÈCNICA</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>FUENTE DE INFORMACIÓN</b>
Observación	Fotos, videos y apuntes	Área de intervención
Calicatas	Herramientas de campo.	Área de intervención
Trabajos de laboratorio	Ensayo de Laboratorio	Área de intervención
Gabinete	Formato de Excel	Datos recolectados el área de intervención

**Fuente:** Elaborado por los autores.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO**

#### **4.1. Trabajo de campo**

##### **4.1.1. Calicata**

Se realizaron pozos exploratorios o también llamado calicatas con el objetivo de determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Estos pozos son elaborados según el tipo de carretera que se va a realizar.

El IMDA, de este proyecto, es de máximo 400 veh/día, por lo que teniendo en cuenta la tabla N°23, se fijará la profundidad y número de pozos exploratorios.

**Tabla N° 23: Número de calicatas para exploración de suelos**

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul>	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 calicatas x km</li> </ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>3 calicatas x km</li> </ul>	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 calicatas x km</li> </ul>	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 calicata x km</li> </ul>	

**Fuente:** (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Visualizando la tabla N° 23, el tipo de carretera es de bajo volumen de tránsito, lo cual indica una calicata como mínimo por kilómetro a una profundidad de 1.5 m al nivel de la sub rasante.

Se pudo evidenciar, en el tramo del proyecto, cambios significativos de las características del suelo, por consecuencia de ello se decidió realizar dos (02) pozos exploratorios para el análisis de esta investigación.

**Tabla N° 24: Características de las calicatas**

CALICATA	DIMENSIONES		PROFUNDIDAD (m)
	LARGO (m)	ANCHO (m)	
C-1	1.00	0.80	1.50
C-2	1.00	0.80	1.50

**Fuente:** Elaborado por los autores.



En la Tabla N°24, se indica la cantidad de calicatas, sus respectivas dimensiones y la profundidad de las mismas.

#### **4.1.2. Conteo de vehículo**

Con el fin de determinar el IMDA se estableció un punto de control de tráfico a la entrada de la avenida en estudio. El conteo se realizó desde las 07 horas hasta las 22 horas por un periodo de 7 días, clasificando los conteos de vehículos por hora. Los formatos de conteo llenados por día se presentarán en anexos.

En la imagen N° 4 se visualiza el conteo de vehículos que transitan por el área de intervención.













**Imagen N° 4: Punto de control**

**Fuente:** Fotografía tomada por los autores.

Los datos obtenidos del conteo realizado se muestran en la tabla N° 25

**Tabla N° 25: Conteo de vehículos**

VEHICULOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION	
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E
DÍAS										
LUNES	129	12	7	0	6	0	0	0	0	0
MARTES	114	14	0	0	4	0	0	0	0	0
MIÉRCOLES	109	9	2	0	2	0	0	0	3	1
JUEVES	131	13	4	0	10	0	0	0	0	0
VIERNES	126	17	0	0	3	0	0	0	3	2
SÁBADO	142	9	3	0	2	0	0	0	0	0
DOMINGO	178	21	6	0	8	2	0	0	0	0
<b>TOTAL VEH/SEM</b>	929	95	22	0	35	2	0	0	6	3
<b>IMDS (Semanal)</b>	132.71	13.57	3.14	0.00	5.00	0.29	0.00	0.00	0.86	0.43

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N°25, se muestra el formato de cálculo correspondiente al índice medio diario anual, teniendo en cuenta el tipo de vehículo que transita en el área de intervención durante 7 días.

#### 4.1.3. Levantamiento Topográfico

Para el levantamiento topográfico se utilizó una estación total, con lo cual se pudo obtener los puntos topográficos para luego generar las curvas de nivel del lugar del proyecto. El proceso de obtención de los puntos topográficos consta de nivelar la estación total y, para la toma de puntos se hace una toma de punto hacia atrás y luego un punto hacia adelante. Los puntos que se tomaron se muestran en la tabla 2 con sus respectivas coordenadas.



**Imagen N° 5: Levantamiento topógrafo**

**Fuente:** Fotografía tomada por los autores

En la imagen N°5, se está realizando el respectivo levantamiento topográfico del área de intervención.

En la Tabla N°26, se visualiza los puntos del levantamiento topográfico del área de intervención en coordenadas UTM, para el estudio topográfico en sí.

**Tabla N° 26 : Puntos del levantamiento topográfico**

N° PUNTO	COORDENADAS UTM		
	X	Y	Z
P1	289439.99	8673790.42	357.19
P2	289461.41	8673780.39	357.20
P3	289376.33	8673703.97	355.00
P4	289396.92	8673698.24	356.28
P5	289295.66	8673593.98	354.80
P6	289311.03	8673579.90	354.87
P7	289256.00	8673497.97	353.29
P8	289274.31	8673490.40	354.42
P9	289161.31	8673364.72	355.18
P10	289177.39	8673351.34	355.08

## 4.2. Trabajo en Laboratorio

### 4.2.1. Ensayos de laboratorio del terreno natural

#### 4.2.1.1. Análisis granulométrico de suelos por tamizado - MTC E 107

Para realizar este ensayo se utilizaron tamices que determinan las fracciones gruesas y fracciones finas, que se muestran en la tabla N° 25

**Tabla N° 27: Tamices utilizados según su fracción**

TAMICES PARA FRACCIÓN GRUESA		TAMICES PARA FRACCIÓN FINA	
Malla	Abertura (mm)	Malla	Abertura (mm)
3"	75	N° 10	2
2"	50	N° 20	0.85
1 1/2"	37.5	N° 40	0.425
1"	25	N°100	0.15
3/4"	19	N° 200	0.075
1/2"	12.5	FONDO	--
3/8"	9.5	--	--
N° 4	4.75	--	--

**Fuente:** elaborado por los autores.

Se armó los tamices con un orden específico, desde la malla de 3" hasta la cantidad que pasa la malla N° 200. Se trabajó con 100 g de la muestra del suelo; se colocó el material para realizar el proceso de zarandeo y se pesa el material retenido en cada malla.

**A. Calicata C-1**

**Tabla N° 28: Peso retenido C-1  
FRACCIONES GRUESAS**

<b>FRACCIONES GRUESAS</b>		
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)
3"	75	--
2"	50	--
1 1/2"	37.5	--
1"	25	--
3/4"	19	--
1/2"	12.5	--
3/8"	9.5	--
<b>N° 4</b>	4.75	--
<b>FRACCIONES FINAS</b>		
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)
<b>N° 10</b>	2	<b>2.3</b>
<b>N° 20</b>	0.85	<b>4.9</b>
<b>N° 40</b>	0.425	<b>6.1</b>
<b>N° 100</b>	0.15	<b>11.3</b>
<b>N° 200</b>	0.075	<b>11</b>
<b>FONDO</b>		<b>64.4</b>

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N°28, se indica el inicio del cálculo granulométrico del ensayo de la calicata 1, comenzando por el peso retenido. La

muestra extraída está compuesta en su totalidad por fracciones fina como se muestra en la tabla, pasando por la malla N° 200 64.4 gramos.

## B. Calicata C-2

**Tabla N° 29: Peso retenido C-2**

D. FRACCIONES GRUESAS		
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)
3"	75	--
2"	50	--
1 1/2"	37.5	--
1"	25	--
3/4"	19	--
1/2"	12.5	--
3/8"	9.5	--
<b>N° 4</b>	4.75	--

FRACCIONES FINAS		
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)
<b>N° 10</b>	2	<b>0.4</b>
<b>N° 20</b>	0.85	<b>0.8</b>
<b>N° 40</b>	0.425	<b>1.2</b>
<b>N° 100</b>	0.15	<b>4.2</b>
<b>N° 200</b>	0.075	<b>8.7</b>
FONDO		<b>84.7</b>

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N°29, se indica el inicio del cálculo granulométrico del ensayo de la calicata 2, comenzando por el peso retenido. La muestra extraída está compuesta en su totalidad por fracciones finas como se muestra en la tabla, pasando por la malla N° 200 84.7 gramos.

Luego se calcula el porcentaje parcial retenido por cada tamiz. Utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{por ciento PARCAL RETENIDO} = \frac{\text{PESO RETENIDO}}{\text{PESO TOTAL}} \times 100$$

#### A. Calicata C-1

En la Tabla N° 30, se muestra el porcentaje parcial retenido de la calicata 1, esto se refiere a la cantidad de en gramos que se retiene en cada malla de las fracciones finas multiplicado por 100 para convertirlo a porcentaje.

**Tabla N° 30: Porcentaje parcial retenido C-1**

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido (gr)
N° 10	2	2.3	<b>2.30</b>
N° 20	0.85	4.9	<b>4.90</b>
N° 40	0.425	6.1	<b>6.10</b>
N° 100	0.15	11.3	<b>11.30</b>
N° 200	0.075	11	<b>11.00</b>
FONDO		64.4	<b>64.40</b>
TOTAL			<b>Σ=100.00</b>

**Fuente:** Elaborado por los autores.

## B. Calicata C-2

**Tabla N° 31: Porcentaje parcial retenido C-2**

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido (gr)
N° 10	2	0.4	<b>0.40</b>
N° 20	0.85	0.8	<b>0.80</b>
N° 40	0.425	1.2	<b>1.20</b>
N° 100	0.15	4.2	<b>4.20</b>
N° 200	0.075	8.7	<b>8.70</b>
FONDO		84.7	<b>84.70</b>
TOTAL			<b>100.00</b>

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 31, se muestra el porcentaje parcial retenido de la calicata 2, esto se refiere a la cantidad de en gramos que se retiene en cada malla de las fracciones finas multiplicado por 100 para convertirlo a porcentaje.

Posteriormente se calcula el porcentaje acumulado retenido y porcentaje acumulado que pasa.

$$\text{por ciento ACUMULADO QUE PASA} = 100 \text{ por ciento} - \text{porcentaje RETENIDO ACUMULADO}$$



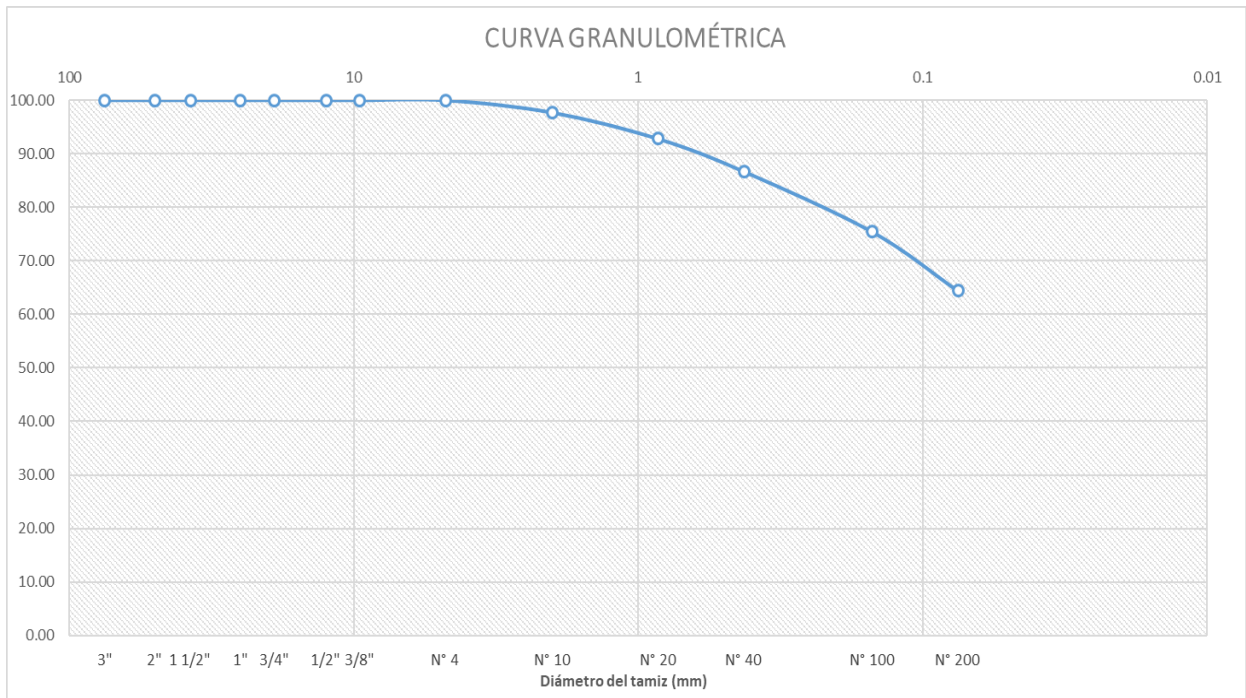
A. Calicata C-1

Tabla N° 32: Porcentaje acumulado retenido y que pasa C-1

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E107-2000 / ASTM D - 422</b>					
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido (gr)	% ACUMULADO	
				Retenido	Que Pasa
N° 10	2	0.9	2.3	2.30	97.70
N° 20	0.85	3.8	4.9	7.2	92.80
N° 40	0.425	10.1	6.1	13.30	86.70
N° 100	0.15	38.8	11.3	24.60	75.40
N° 200	0.075	26.6	11	35.60	64.40
FONDO		19.8	64.4	100.00	0.00
TOTAL			$\Sigma=100.00$		

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N°32, se calcula el porcentaje acumulado retenido y pasante, para la calicata 1 se obtuvo 35.60 por ciento y 64.60 por ciento respectivamente correspondiente; a la malla N°200. Una vez calculado estos datos se realiza la curva granulométrica.



**Figura N° 8: Curva granulométrica C-1**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 8, se expresa de manera gráfica la curva que se obtiene después de cada proceso de zarandeo; correspondiente a la calicata 1.

### **B. Calicata C-2**

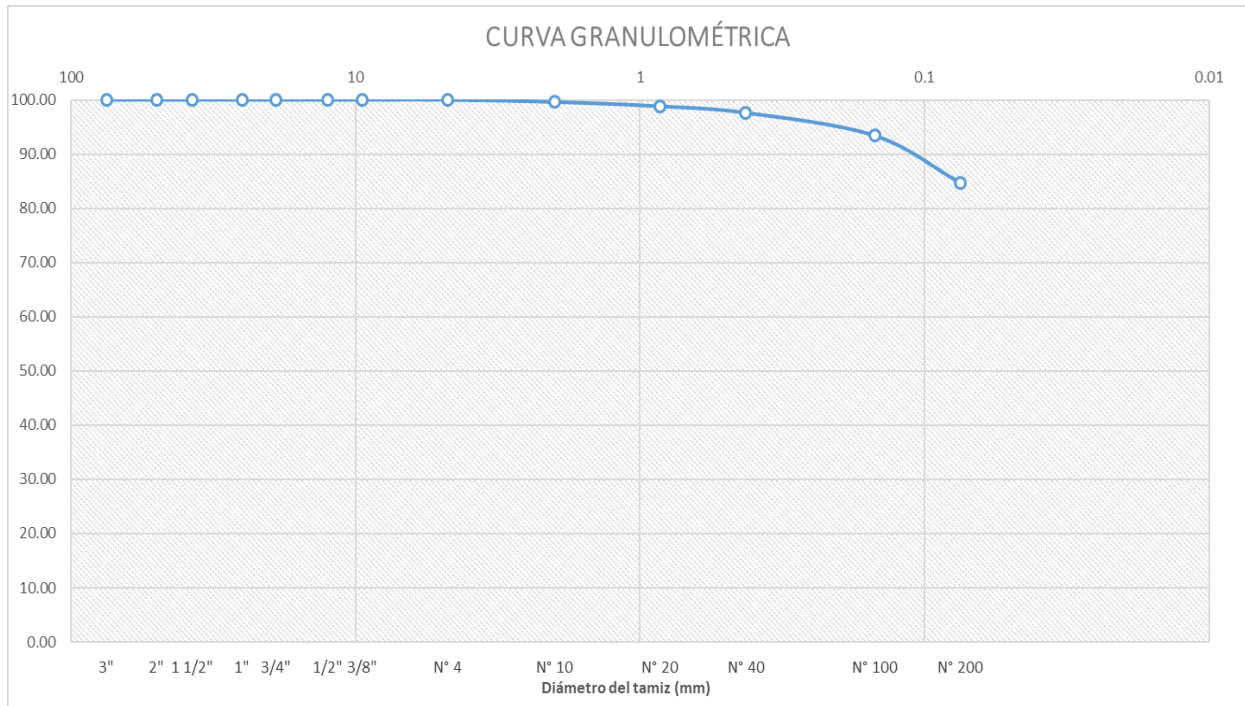
En la Tabla N°33, se calcula el porcentaje acumulado retenido y pasante, para la calicata 2 se obtuvo 15.30 por ciento y 84.70 por ciento respectivamente; correspondiente a la malla N°200. Una vez calculado estos datos se realiza la curva granulométrica

**Tabla N° 33: Porcentaje acumulado retenido y que pasa C-2**

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido (gr)	% ACUMULADO	
				Retenido	Que Pasa
N° 10	2	0.4	0.40	0.40	99.60
N° 20	0.85	0.8	0.80	1.20	98.80
N° 40	0.425	1.2	1.20	2.40	97.60
N° 100	0.15	4.2	4.20	6.60	93.40
N° 200	0.075	8.7	8.70	15.30	84.70
FONDO		84.7	84.70	100.00	0.00
TOTAL			100.00		

Fuente: Elaborado por los autores.

En la Figura N° 9, se expresa de manera gráfica la curva que se obtiene después de cada proceso de zarandeo; correspondiente a la calicata 2.



**Figura N° 9: Curva granulométrica C-2**

Fuente: Elaborado por los autores.

#### 4.2.1.2. Determinación del contenido de humedad de un suelo - MTC E 108

Para este proceso o ensayo, se tuvo que extraer una muestra de aproximadamente 1000 g al momento de realizar los pozos exploratorios lo cual fueron colocados en una bolsa de polietileno para que su humedad propia se mantenga. En laboratorio se colocaron dos muestras en taras diferentes para luego ser colocado en el horno durante 24 horas. Pasando las 24 horas se obtuvo el secado de la muestra en peso. El contenido de agua total será el promedio de ambas.

Para obtener el contenido de humedad (w) se utiliza la siguiente formula:

$$\text{CONTENIDO DE HUMEDAD (w)} = \frac{\text{PESO HUMEDO DEL SUELO} - \text{PESO SECO DEL SUELO}}{\text{PESO SECO DEL SUELO}} \times 100$$

##### A. Calicata C-1

$$\text{CONTENIDO DE HUMEDAD (w1)} = \frac{309 - 281.9}{281.9} \times 100$$

$$\text{CONTENIDO DE HUMEDAD (w1)} = 9.6 \text{ por ciento}$$

$$\text{CONTENIDO DE HUMEDAD (w2)} = \frac{275.3 - 250.7}{250.7} \times 100$$

$$\text{CONTENIDO DE HUMEDAD (w2)} = 9.8 \text{ por ciento}$$

**Tabla N° 34: Promedio de contenido humedad C-1**

W1 (%)	W2 (%)	PROMEDIO (%)
9.6	9.8	9.7

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la tabla N° 34 se muestra el promedio del contenido de humedad para la calicata 1.

**B. Calicata C-2**

$$\text{CONTENIDO DE HUMEDAD (w1)} = \frac{219.6-204.5}{204.5} \times 100$$

$$\text{CONTENIDO DE HUMEDAD (w1)} = 7.4 \text{ por ciento}$$

$$\text{CONTENIDO DE HUMEDAD (w2)} = \frac{226.3-210.3}{210.3} \times 100$$

$$\text{CONTENIDO DE HUMEDAD (w2)} = 7.6 \text{ por ciento}$$

**Tabla N° 35: Promedio de contenido humedad C-2**

W1 (%)	W2 (%)	PROMEDIO (%)
7.4	7.6	7.5

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la tabla N° 35 se muestra el promedio del contenido de humedad para la calicata 2.

**4.2.1.3. Determinación del límite líquido de los suelos - MTC E  
110**

Preparar una muestra para este ensayo, es particularmente complicado. Se necesitó una cantidad mínima de 150 gr que paso la malla N°40. Este proceso se realiza con ayuda de agua. Lo complicado radica en evitar que el material fino se filtre al momento de retirar el material granular. Luego de tener la cantidad aproximada, se pone a secar el material a la intemperie por 24 horas.

Luego de este tiempo, la muestra está lista para realizar el ensayo en la cuchara de Casagrande. Sin embargo, primero esta cuchara debe ser calibrada. El objetivo es lograr que la cuchara en su punto más bajo esté por encima de la superficie del equipo 1cm. Esto se logra usando una especie de gancho metálico que tiene un final en cubo de 1cm por lado.

Después de haber calibrado la cuchara, con una espátula esparcir la muestra en la cuchara de manera que la superficie queda horizontal y que cubra aproximadamente la mitad de la cuchara en superficie. Con el ranurador, se hace una pequeña ranura en el centro de la superficie partiendo desde el centro de la cuchara. Esta marca debe ser limpia. Luego de realizarla, se empezó el ensayo en sí. Con la manija de la cuchara, se empieza a hacer golpe tras golpe hasta que la marca que se hizo tenga no tenga espesor. Este proceso se realiza añadiendo agua a la muestra hasta que la cantidad de golpes esté en un rango entre 10 - 40 aproximadamente. Cuando se obtengan cantidad de golpes en este rango, se realizará la prueba de humedad para diferentes puntos. Luego de retirar los recipientes del horno, pasando las 24 horas se obtendrá los datos secos de la muestra y se podrá calcular su contenido de humedad.

**A. Calicata C-1**

**Tabla N° 36: Límite Líquido C-1**

<b>LÍMITE LÍQUIDO MTC E 110 - 2000 / ASTM D - 4318</b>				
N° de recipiente	K-7	K-17	K-1	K-22
Peso de recipiente (g)	14.83	15.07	14.48	18.75
Peso de recipiente +suelo húmedo (g)	30.32	29.58	27.13	37.93
Peso de recipiente + suelo seco (g)	26.89	26.54	24.59	34.11
Peso de agua (g)	3.43	3.04	2.54	3.82
Peso de suelo seco (g)	12.06	11.47	10.11	15.36
Contenido de humedad (%)	28.40	26.50	25.10	24.90
Número de golpes	<b>12</b>	<b>21</b>	<b>33</b>	<b>36</b>

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N°36, se visualiza el cálculo del ensayo de límite líquido de la calicata 1. Se trabajó con cuatro recipientes obteniendo un

contenido de humedad de 28.40 por ciento, 26.50 por ciento, 25.20 por ciento, 24.90 por ciento, con numero de golpes de 12, 21, 33 y 36 respectivamente

**B. Calicata C-2**

**Tabla N° 37: Límite Líquido C-2**

<b>LÍMITE LÍQUIDO MTC E 110 - 2000 / ASTM D - 4318</b>				
N° de recipiente	K-3	K-4	K-5	K-22
Peso de recipiente (g)	16.38	16.23	17.95	17.12
Peso de recipiente +suelo húmedo (g)	32.25	36.95	34.17	31.14
Peso de recipiente+suelo seco (g)	28.17	31.91	30.30	27.83
Peso de agua (g)	4.08	5.04	3.87	3.31
Peso de suelo seco (g)	11.79	15.68	12.35	10.71
Contenido de humedad (%)	34.61	32.14	31.34	30.91
Número de golpes	13	24	30	34

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N°37, se visualiza el cálculo del ensayo de límite líquido de la calicata 2. Se trabajó con cuatro recipientes obteniendo un contenido de humedad de 34.61 por ciento, 32.14 por ciento, 31.34 por ciento, 30.91 por ciento, con número de golpes de 13,24,30 y 34 respectivamente

**4.2.1.4. Determinación del límite plástico – MTC E 111**

La preparación de la muestra es similar a la del ensayo de Límite Líquido, por lo que para realizar ambos ensayos se obtienen las mismas

muestras para ambos. El ensayo consiste en moldear en forma cilíndrica la muestra de manera que se obtenga un diámetro aproximado de 3.2 mm sin que la muestra no se haya desmoronado. Para lograr este punto, se debe añadir más agua según el operador considere. Cuando se obtiene este punto, se realiza la prueba de humedad a la muestra obtenida (aproximadamente 15 gr.) Se repite el ensayo 3 veces de manera que se obtiene un promedio de valores finales.

**A. Calicata C-1**

**Tabla N° 38: Límite plástico C-1**

<b>LÍMITE PLÁSTICO MTC E 111 - 2000 / ASTM D- 4318</b>		
N° de recipiente	K-11	K-4
Peso de recipiente (g)	17.86	16.07
Peso de recipiente +suelo húmedo (g)	29.65	29.82
Peso de recipiente+suelo seco (g)	27.97	27.78
Peso de agua (g)	1.68	2.04
Peso de suelo seco (g)	10.11	11.71
Contenido de humedad (%)	16.60	17.40

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N°38, se visualiza el cálculo del ensayo de límite plástico de la calicata 1. Se trabajó con dos recipientes obteniendo un contenido de humedad de 16.60 por ciento y 17.40 por ciento.

**B. Calicata C-2**

En la Tabla N°39, se visualiza el cálculo del ensayo de límite plástico de la calicata 2. Se trabajó con dos recipientes, obteniendo un contenido de humedad de 16.21 por ciento y 15.72 por ciento.



**Tabla N° 39: Límite plástico C-2**

<b>LÍMITE PLÁSTICO MTC E 111 - 2000 / ASTM D- 4318</b>		
N° de recipiente	K-1	K-2
Peso de recipiente (g)	15.19	18.69
Peso de recipiente +suelo húmedo (g)	25.30	29.51
Peso de recipiente+suelo seco (g)	23.89	28.04
Peso de agua (g)	1.41	1.47
Peso de suelo seco (g)	8.70	9.35
Contenido de humedad (%)	16.21	15.72

**Fuente:** Elaborado por los autores.

#### **4.2.1.5. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado) – MTC E 115**

En este ensayo se calculará el valor de la humedad y la densidad seca máxima del suelo. Se hizo el tamizado del material por la malla N°4, con el propósito de realizar una buena compactación en los moldes utilizados. Para determinar estos datos se trabajará con el suelo en estado húmedo. Los pesos obtenidos se mostrarán a continuación:

**A. Calicata C-1**

**Tabla N° 40: Proctor Modificado, suelo húmedo C-1**

PROCTOR MODIFICADO MTC E - 2000 / ASTM D - 1557					
Descripción	und	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Ensayo 04
Peso suelo + Molde	gr	5782	5692	6025	5949.5
Peso <del>Molde</del>	gr	3910	3910	3910	3910
Peso Suelo Húmedo Compactado	gr				

Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	950	950	950	950
Peso Volumétrico Húmedo	gr				
HUMEDADES					
Peso del suelo húmedo+Tara	gr	502.8	661.7	503.2	625.6
Peso del suelo Seco+tara	gr				
Peso de la tara	gr	97	139.6	61	67.3
Peso del agua	gr				
Peso del suelo Seco	gr				
Contenido de humedad	%				
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>				

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N°40, observamos el cálculo del peso del suelo compactado y a la vez el peso del suelo húmedo. Correspondiente a la calicata 1.

**B. Calicata C-2**

**Tabla N° 41: Proctor Modificado, suelo húmedo C-2**

PROCTOR MODIFICADO MTC E - 2000 / ASTM D - 1557					
Descripción	und	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Ensayo 04
Peso suelo + Molde	gr	3636.9	3758.8	3819.8	3749
Peso Molde	gr	1788	1788	1788	1788
Peso Suelo Húmedo Compactado	gr				
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	949	949	949	949
Peso Volumétrico Húmedo	gr				
HUMEDADES					
Peso del suelo húmedo+Tara	gr	503.4	661	503	625.9
Peso del suelo Seco+tara	gr				

Peso de la tara	gr	30	47.1	47.4	68.4
Peso del agua	gr				
Peso del suelo Seco	gr				
Contenido de humedad	%				
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>				

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N°41, observamos el cálculo del peso del suelo compactado y a la vez el peso del suelo húmedo. Correspondiente a la calicata 2.

Pasando las 24 horas correspondientes al secado, se obtiene el peso siguiente:

**A. Calicata C-1**

**Tabla N° 42: Proctor Modificado, suelo seco C-1**

<b>PROCTOR MODIFICADO MTC E - 2000 / ASTM D - 1557</b>					
<b>Descripción</b>	<b>Und</b>	<b>Ensayo 01</b>	<b>Ensayo 02</b>	<b>Ensayo 03</b>	<b>Ensayo 04</b>
Peso suelo + Molde	gr	5782	5692	6025	5949.5
Peso Molde	gr	3910	3910	3910	3910
Peso Suelo Húmedo Compactado	gr				
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	950	950	950	950
Peso Volumétrico Húmedo	gr				
<b>HUMEDADES</b>					
Peso del suelo húmedo+Tara	gr	502.8	661.7	503.2	625.6
Peso del suelo Seco+tara	gr	<b>473.4</b>	<b>613.9</b>	<b>456.2</b>	<b>557.5</b>
Peso de la tara	gr	97	139.6	61	67.3
Peso del agua	gr				
Peso del suelo Seco	gr				
Contenido de humedad	%				
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>				

**Fuente:** Elaborado por los autores.

Según la Tabla N°42, se observa el cálculo del peso suelo seco que se obtiene pasada las 24 horas después de haber sido colocado en el horno a una temperatura de 110°C.

## B. Calicata C-2

Tabla N° 43: Proctor Modificado, suelo seco C-2

PROCTOR MODIFICADO MTC E - 2000 / ASTM D - 1557					
Descripción	und	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Ensayo 04
Peso suelo + Molde	gr	3636.9	3758.8	3819.8	3749
Peso Molde	gr	1788	1788	1788	1788
Peso Suelo Húmedo Compactado	gr				
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	949	949	949	949
Peso Volumétrico Húmedo	gr				
HUMEDADES					
Peso del suelo húmedo+Tara	gr	503.4	661	503	625.9
Peso del suelo Seco+tara	gr	<b>473.4</b>	<b>613.9</b>	<b>456.2</b>	<b>557.5</b>
Peso de la tara	gr	30	47.1	47.4	68.4
Peso del agua	gr				
Peso del suelo Seco	gr				
Contenido de humedad	%				
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>				

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la tabla N° 43 se muestran los datos que se obtienen en laboratorio; una vez anotado los pesos se realiza el trabajo en gabinete colocando los datos adquiridos en planilla de Excel para que se genere los demás cálculos.

**A. Calicata C-1**

**Tabla N° 44: Proctor Modificado completo C-1**

<b>PROCTOR MODIFICADO MTC E - 2000 / ASTM D - 1557</b>					
<b>Descripción</b>	<b>und</b>	<b>Ensayo 01</b>	<b>Ensayo 02</b>	<b>Ensayo 03</b>	<b>Ensayo 04</b>
Peso suelo + Molde	gr	5782	5692	6025	5949.5

Peso Mode	gr	3910	3910	3910	3910
Peso Suelo Húmedo Compactado	gr	1872	1782	2115	2039.5
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	950	950	950	950
Peso Volumétrico Húmedo	gr	1.97	1.88	2.23	2.15
<b>HUMEDADES</b>					
Peso del suelo húmedo+Tara	gr	502.8	661.7	503.2	625.6
Peso del suelo Seco+tara	gr	473.4	613.9	456.2	557.5
Peso de la tara	gr	97	139.6	61	67.3
Peso del agua	gr	29.4	47.8	47	68.1
Peso del suelo Seco	gr	376.4	474.3	395.2	490.2
Contenido de humedad	%	7.8	10.1	11.9	13.9
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.83	1.70	1.99	1.88

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N°44, se visualiza la hoja de cálculo terminada correspondiente al Proctor Modificado de la calicata 1.

## B. Calicata C-2

**Tabla N° 45: Proctor Modificado completo C-2**

<b>PROCTOR MODIFICADO MTC E - 2000 / ASTM D - 1557</b>					
<b>Descripción</b>	<b>und</b>	<b>Ensayo 01</b>	<b>Ensayo 02</b>	<b>Ensayo 03</b>	<b>Ensayo 04</b>
Peso suelo + Molde	gr	3636.9	3758.8	3819.8	3749
Peso Mode	gr	1788	1788	1788	1788
Peso Suelo Húmedo Compactado	gr	1848.9	1970.8	2031.8	1961
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	949	949	949	949
Peso Volumétrico Húmedo	gr	1.95	2.08	2.14	2.07
<b>HUMEDADES</b>					

Peso del suelo húmedo+Tara	gr	503.4	661	503	625.9
Peso del suelo Seco+tara	gr	473.4	613.9	456.2	557.5
Peso de la tara	gr	30	47.1	47.4	68.4
Peso del agua	gr	30	47.1	46.8	68.4
Peso del suelo Seco	gr	443.4	566.8	408.8	489.1
Contenido de humedad	%	6.8	8.3	11.4	14.0
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.82	1.92	1.92	1.81

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N°45, se visualiza la hoja de cálculo terminada correspondiente al Proctor Modificado de la calicata 2.

### **4.2.1.6. California Bearing Ratio (CBR) (laboratorio) – MTC E 132**

Este ensayo se divide en tres etapas, que son las siguientes: Compactación, Expansión y Penetración.

- Compactación

Se coloca dentro del molde un disco separador y papel filtro, seguidamente se realiza la compactación con 56,25 y 12 golpes cada 5 capas. Al finalizar cada llenado de molde se enraza con una regla metálica el material que quedaba por encima del molde. Después se pesaba el molde con el material puesto y de esa manera obteníamos el peso no saturado. Luego se calculaba la expansión del material durante 4 días y procedía a pesar el molde, que de tal manera se obtenía el peso saturado de la muestra.

**A. Calicata C-1**

**Tabla N° 46: CBR – Compactación C-1**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO			
			E-1	E-2	E-3	E-4
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	5749.4	5884.8	5943.0	5899.3
2	Peso del Molde	gr	3910.0	3910.0	3910.0	3910.0
3	Peso Suelo Humedo	gr	1839.4	1974.8	2033.0	1989.3
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	950.0	950.0	950.0	950.0
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.936	2.079	2.140	2.094

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 46, observamos que la densidad del suelo húmedo en la calicata 1 es de 1.936, 2.079, 2.140 y 2.094 gr/cm<sup>3</sup>; para los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

**B. Calicata C-2**

**Tabla N° 47: CBR - Compactación C-2**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO			
			E-1	E-2	E-3	E-4
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	3636.9	3758.8	3819.8	3749.0
2	Peso del Molde	gr	1788.0	1788.0	1788.0	1788.0
3	Peso Suelo Humedo	gr	1848.9	1970.8	2031.8	1961.0
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	949.0	949.0	949.0	949.0
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.948	2.077	2.141	2.066

**Fuente:** Elaborado por los autores.



En la Tabla N° 47, observamos que la densidad del suelo húmedo en la calicata 2 es de 1.948, 2.077, 2.141 y 2.066 gr/cm<sup>3</sup>; para los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

- Expansión

Después del ensayo de penetración, viene el de expansión. En este ensayo se retira el disco separador y se voltea el molde para que luego se coloque encima de estos tres discos. Los moldes serán remojados por 4 días y con ayuda del dial se determinará la expansión del suelo. Resultado de ello, se visualizará en la siguiente tabla.

**A. Calicata C-1**

**Tabla N° 48: CBR – Expansión C-1**

<b>Horas</b>	<b>Lec. Pulg</b>	<b>Expansión</b>	<b>Lec. Pulg</b>	<b>Expansión</b>	<b>Lec. Pulg</b>	<b>Expansión</b>
00:00:00	0	0	0	0	0	0
24:00:00	0.055	1.204	0.079	1.724	0.107	2.332
48:00:00	0.11	2.408	0.158	3.449	0.213	4.664
72:00:00	0.165	3.611	0.236	5.173	0.32	6.996
96:00:00	0.22	4.815	0.315	6.897	0.426	9.328

**Fuente:** Elaborado por los autores.

La Tabla N° 48, determina la expansión del suelo para la calicata 1, durante 4 días, pasadas las 96 horas los resultados son de 4.815, 6.897 y 9.328 lb/pulg<sup>2</sup>, correspondientes a las muestras 1, 2 y 3 respectivamente.

## B. Calicata C-2

En la Tabla N° 49, la expansión del suelo para la calicata 2, pasadas las 96 es de 4.815, 6.897 y 9.328 lb/pulg<sup>2</sup>, correspondientes a las muestras 1, 2 y 3 respectivamente.

**Tabla N° 49: CBR – Expansión C-2**

Horas	Lec. Pulg	Expansión	Lec. Pulg	Expansión	Lec. Pulg	Expansión
00:00:00	0	0	0	0	0	0
24:00:00	0.055	1.204	0.079	1.724	0.107	2.332
48:00:00	0.11	2.408	0.158	3.449	0.213	4.664
72:00:00	0.165	3.611	0.236	5.173	0.32	6.996
96:00:00	0.22	4.815	0.315	6.897	0.426	9.328

**Fuente:** Elaborado por los autores.

### - Penetración

Proceso final del ensayo CBR, aquí se trabaja con el material saturado, luego que se cumplan los 4 días se retiran de los recipientes de agua y se pone a escurrir el agua durante unos 5 minutos antes de colocar en la máquina de penetración. Allí se observa en cero el indicador de presión del anillo de carga y el dial de deformación. Procedemos a registrar las lecturas de presión.

**A. Calicata C-1**

**Tabla N° 50: CBR – Penetración C-1**

Molde N°	M-45		M-18		M-38	
	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg2	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg2	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg2
0	0	0	0	0	0	0
0.025	44.7	14.9	37.9	12.6	29.9	10
0.05	97.7	32.6	82.9	27.6	65.4	21.8
0.075	168.1	56	142.6	47.5	112.6	37.5
0.1	240.2	80.1	203.8	67.9	160.9	53.6
0.15	385.3	128.4	326.8	108.9	258	86
0.2	555.7	185.2	471.4	157.1	372.1	124
0.25	732.7	244.2	621.5	207.2	490.7	163.6
0.3	893.1	297.7	757.5	252.5	598.1	199.4
0.4	1066.1	355.4	904.3	301.4	713.9	238
0.5	1134.4	378.1	962.2	320.7	759.6	253.2

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 50, observamos que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 378.1, 320.7 y 253.2 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.

## A. Calicata C-2

Tabla N° 51: CBR – Penetración C-2

Moide N°	M-41		M-40		M-42	
	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg2	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg2	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg2
0	0	0	0	0	0	0
0.025	24.7	8.2	17.2	5.7	8.4	2.8
0.05	54.1	18	37.5	12.5	18.3	6.1
0.075	93.1	31	64.5	21.5	31.5	10.5
0.1	133	44.3	92.2	30.7	45	15
0.15	213.3	71.1	147.9	49.3	72.2	24.1
0.2	307.6	102.5	213.4	71.1	104.2	34.7
0.25	405.6	135.2	281.3	93.8	137.4	45.8
0.3	494.4	164.8	342.9	114.3	167.5	55.8
0.4	590.2	196.7	409.3	136.4	199.9	66.6
0.5	628	209.3	435.5	145.2	212.7	70.9

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 51, observamos que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 209.3, 145.2 y 70.9 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.

### 4.2.2. **Ensayo de laboratorio utilizando estabilizadores**

Los ensayos que se realizaran para el uso de los siguientes estabilizadores, son el Proctor Modificado y California Bearing Ratio (CBR).

#### **4.2.2.1. Estabilización con cloruro de Magnesio (Bischofita)**

Según el (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014), menciona que la dosificación utilizada deberá encontrarse entre los rangos de 3 por ciento a 5 por ciento de cloruro en respecto del suelo seco (El suelo obtenido se colocó a la intemperie para obtener su secado). A continuación, se visualizará los ensayos agregando el porcentaje de magnesio.

##### **A. Calicata C-1:**

##### **Suelo + 3 por ciento Cloruro de magnesio**

- Ensayo Proctor Modificado con 3 por ciento de cloruro de magnesio.

En la Tabla N° 52, se observa que adicionando 3 por ciento de cloruro de magnesio mediante el ensayo Proctor Modificado, el promedio de humedad del suelo es de 8.5, 10.6, 12.7 y 14.8 en los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

**Tabla N° 52: Proctor Modificado (adicionado 3 por ciento de cloruro de magnesio) C-1**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO							
			E-1		E-2		E-3		E-4	
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	5992.4		6138.7		6205.5		6132.0	
2	Peso del Molde	gr	3910.0		3910.0		3910.0		3910.0	
3	Peso Suelo Humedo	gr	2082.4		2228.7		2295.5		2222.0	
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	950.0		950.0		950.0		950.0	
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.192		2.346		2.416		2.339	
6	Tarro N°	-	600	560	554	54	239	551	282	216
7	Peso Suelo Humedo + Tarro	gr	504.3	538.7	662.8	525.0	505.9	649.7	629.9	442.6
8	Peso Suelo Seco + Tarro	gr	473.4	506.1	613.9	481.3	456.2	586.3	557.5	394.7
9	Peso del Tarro	gr	97.0	132.0	139.6	80.0	61.0	87.2	67.3	69.5
10	Peso del Agua	gr	30.9	32.6	48.9	43.7	49.7	63.4	72.4	47.9
11	Peso Suelo Seco	gr	376.4	374.1	474.3	401.3	395.2	499.1	490.2	325.2
12	Contenido de Humedad	%	8.2	8.7	10.3	10.9	12.6	12.7	14.8	14.7
13	Promedio de Humedad	%	8.5		10.6		12.7		14.8	
14	Densidad del Suelo Seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.020		2.121		2.144		2.037	

**Fuente:** Elaborado por los autores.

- Ensayo California Bearing Ratio con 3 por ciento de cloruro de magnesio.

**Tabla N° 53: CBR (adicionado 3 por ciento de cloruro de magnesio) C-1**

DESCRIPCION	COMPACTACION DE ESPECIMENES						
	M-28		M-38		M-50		
Molde N°							
Condicion de la Muestra:	Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada	
N° Golpes por Capa	56 (5 Capas)		25 (5 Capas)		12 (5 Capas)		
Peso Molde + Suelo Humedo	gr	12094	12152	11893	12002	11607	11761
Peso del Molde	gr	7025	7025	7033.3	7033.3	7042.9	7042.9
Peso del Suelo Humedo	gr	5069	5127	4859.7	4968.7	4564.1	4718.1
Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	2104	2104	2113.3	2113.3	2099.2	2099.2
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.409	2.437	2.300	2.351	2.174	2.248
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.148	2.148	2.049	2.049	1.938	1.937
Tarro N°		193	544	532	387	135	255
Tarro + Suelo Humedo	gr	491.3	504.2	521.9	458.4	531.1	570.5
Tarro + Suelo Seco	gr	448.3	460.9	472.1	413.7	485.9	510.5
Peso del Tarro	gr	94	139	64.2	110.4	116.3	136.3
Contenido de Humedad	%	12.2	13.4	12.2	14.7	12.2	16.0

EXPANSION						
Horas	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion
00:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24:00:00	0.060	1.319	0.082	1.801	0.115	2.513
48:00:00	0.121	2.639	0.165	3.602	0.230	5.025
72:00:00	0.181	3.958	0.247	5.403	0.344	7.538
96:00:00	0.241	5.277	0.329	7.204	0.459	10.051

PENETRACION DE ESPECIMENES						
Molde N°	M-28		M-38		M-50	
Penetra. (pulg)	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	42.3	14.1	37.1	12.4	30.5	10.2
0.050	94.1	31.4	82.4	27.5	67.9	22.6
0.075	166.8	55.6	146.1	48.7	120.2	40.1
0.100	241.5	80.5	211.5	70.5	174.1	58.0
0.150	399.4	133.1	349.8	116.6	287.9	96.0
0.200	593.3	197.8	519.7	173.2	427.7	142.6
0.250	795.2	265.1	696.6	232.2	573.3	191.1
0.300	980.2	326.7	858.7	286.2	706.7	235.6
0.400	1180.6	393.5	1034.2	344.7	851.1	283.7
0.500	1260.3	420.1	1104.0	368.0	908.6	302.9

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 53, se observa que mediante el ensayo California Bearing Ratio con 3 por ciento de cloruro de magnesio, el contenido de humedad del suelo es del 13.4 por ciento en el molde 28, 14.7 por ciento en el molde 38 y 16.0 por ciento en el molde 50. Asimismo, se puede observar que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 420.1, 368.0 y 302.9 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.



## Suelo + 4 por ciento Cloruro de magnesio

- Ensayo Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio.

**Tabla N° 54: Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio C-1**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO							
			E-1		E-2		E-3		E-4	
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	6032.3		6182.3		6251.7		6152.7	
2	Peso del Molde	gr	3910.0		3910.0		3910.0		3910.0	
3	Peso Suelo Humedo	gr	2122.3		2272.3		2341.7		2242.7	
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	950.0		950.0		950.0		950.0	
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.234		2.392		2.465		2.361	
6	Tarro N°	-	600	560	554	54	239	551	282	216
7	Peso Suelo Humedo + Tarro	gr	473.8	526.0	444.8	414.0	535.9	501.5	635.3	700.1
8	Peso Suelo Seco + Tarro	gr	440.9	487.9	407.5	379.9	487.9	452.0	568.9	628.1
9	Peso del Tarro	gr	70.2	62.3	62.5	67.8	105.0	70.3	109.8	139.6
10	Peso del Agua	gr	32.9	38.1	37.3	34.1	48.0	49.5	66.4	72.0
11	Peso Suelo Seco	gr	370.7	425.6	345.0	312.1	382.9	381.7	459.1	488.5
12	Contenido de Humedad	%	8.9	9.0	10.8	10.9	12.5	13.0	14.5	14.7
13	Promedio de Humedad	%	9.0		10.9		12.8		14.6	
14	Densidad del Suelo Seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.050		2.157		2.185		2.060	

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 54, podemos observar que en el ensayo Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio, el promedio de humedad del suelo es de 9.0, 10.9, 12.8 y 14.6 para los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

- Ensayo California Bearing Ratio con 4 por ciento de cloruro de magnesio.



**Tabla N° 55: CBR (adicionado 4por ciento de cloruro de magnesio) C-1**

DESCRIPCION	COMPACTACION DE ESPECIMENES						
	M-28		M-38		M-50		
Molde N°							
Condicion de la Muestra:	Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada	
N° Golpes por Capa	56 (5 Capas)		25 (5 Capas)		12 (5 Capas)		
Peso Molde + Suelo Humedo	gr	12197	12257	11935	12046	11664	11822
Peso del Molde	gr	7025	7025	7033.3	7033.3	7042.9	7042.9
Peso del Suelo Humedo	gr	5172	5232	4901.7	5012.7	4621.1	4779.1
Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	2104	2104	2113.3	2113.3	2099.2	2099.2
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.458	2.487	2.319	2.372	2.201	2.277
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.190	2.190	2.065	2.065	1.960	1.960
Tarro N°		193	544	532	387	135	255
Tarro + Suelo Humedo	gr	491.7	504.6	522.3	458.8	531.4	571.0
Tarro + Suelo Seco	gr	448.3	460.9	472.1	413.7	485.9	510.5
Peso del Tarro	gr	94	139	64.2	110.4	116.3	136.3
Contenido de Humedad	%	12.3	13.6	12.3	14.8	12.3	16.1

EXPANSION						
Horas	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion
00:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24:00:00	0.047	1.024	0.072	1.571	0.105	2.305
48:00:00	0.094	2.047	0.144	3.142	0.211	4.609
72:00:00	0.140	3.071	0.215	4.713	0.316	6.914
96:00:00	0.187	4.095	0.287	6.284	0.421	9.218

PENETRACION DE ESPECIMENES						
Molde N°	M-28		M-38		M-50	
	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg2	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg2	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg2
	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.025	46.7	15.6	40.6	13.5	35.2
	0.050	104.3	34.8	90.8	30.3	78.7
	0.075	185.9	62.0	161.9	54.0	140.4
	0.100	269.9	90.0	235.0	78.3	203.8
	0.150	449.1	149.7	391.1	130.4	339.1
	0.200	671.1	223.7	584.3	194.8	506.7
	0.250	902.3	300.8	785.7	261.9	681.3
	0.300	1114.5	371.5	970.5	323.5	841.6
	0.400	1344.5	448.2	1170.8	390.3	1015.3
	0.500	1436.1	478.7	1250.5	416.8	1084.4

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 55, observamos que mediante el ensayo California Bearing Ratio con 4 por ciento de cloruro de magnesio, el contenido

de humedad del suelo es del 13.6 por ciento en el molde 28, 14.8 por ciento en el molde 38 y 16.1 por ciento en el molde 50. Asimismo, se puede observar que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 478.7, 416.8 y 361.5 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.

### **Suelo + 5 por ciento Cloruro de magnesio**

En la Tabla N° 56, identificamos que en el ensayo Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio, el promedio de humedad del suelo es de 8.7, 10.7, 12.8 y 14.9 para los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

- Ensayo Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio.

**Tabla N° 56: Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio C-1.**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO							
			E-1		E-2		E-3		E-4	
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	6047.4		6202.4		6271.1		6207.3	
2	Peso del Molde	gr	3910.0		3910.0		3910.0		3910.0	
3	Peso Suelo Humedo	gr	2137.4		2292.4		2361.1		2297.3	
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	950.0		950.0		950.0		950.0	
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.250		2.413		2.485		2.418	
6	Tarro N°	-	600	560	554	54	239	551	282	216
7	Peso Suelo Humedo + Tarro	gr	473.0	525.1	445.4	412.5	536.0	501.6	636.4	701.3
8	Peso Suelo Seco + Tarro	gr	440.9	487.9	407.5	379.9	487.9	452.0	568.9	628.1
9	Peso del Tarro	gr	70.2	62.3	62.5	67.8	105.0	70.3	109.8	139.6
10	Peso del Agua	gr	32.1	37.2	37.9	32.6	48.1	49.6	67.5	73.2
11	Peso Suelo Seco	gr	370.7	425.6	345.0	312.1	382.9	381.7	459.1	488.5
12	Contenido de Humedad	%	8.7	8.7	11.0	10.4	12.6	13.0	14.7	15.0
13	Promedio de Humedad	%	8.7		10.7		12.8		14.9	
14	Densidad del Suelo Seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.070		2.180		2.203		2.104	

**Fuente:** Elaborado por los autores.

- Ensayo California Bearing Ratio con 5 por ciento de cloruro de magnesio.

**Tabla N° 57: CBR (adicionando 5 por ciento de cloruro de magnesio) C-1**

DESCRIPCION	COMPACTACION DE ESPECIMENES						
	M-28		M-38		M-50		
Molde N°							
Condicion de la Muestra:	Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada	
N° Golpes por Capa	56 (5 Capas)		25 (5 Capas)		12 (5 Capas)		
Peso Molde + Suelo Humedo	gr	12235	12295	12023	12135	11698	11856
Peso del Molde	gr	7025	7025	7033.3	7033.3	7042.9	7042.9
Peso del Suelo Humedo	gr	5210	5270	4989.7	5101.7	4655.1	4813.1
Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	2104	2104	2113.3	2113.3	2099.2	2099.2
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.476	2.505	2.361	2.414	2.218	2.293
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.208	2.208	2.104	2.104	1.976	1.976
Tarro N°		193	544	532	387	135	255
Tarro + Suelo Humedo	gr	491.3	504.2	521.9	458.4	531.1	570.5
Tarro + Suelo Seco	gr	448.3	460.9	472.1	413.7	485.9	510.5
Peso del Tarro	gr	94	139	64.2	110.4	116.3	136.3
Contenido de Humedad	%	12.2	13.4	12.2	14.7	12.2	16.0

EXPANSION						
Horas	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion
00:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24:00:00	0.043	0.936	0.068	1.494	0.100	2.195
48:00:00	0.086	1.872	0.137	2.989	0.201	4.390
72:00:00	0.128	2.808	0.205	4.483	0.301	6.585
96:00:00	0.171	3.744	0.273	5.978	0.401	8.781

PENETRACION DE ESPECIMENES						
Molde N°	M-28		M-38		M-50	
	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	54.6	18.2	49.8	16.6	43.8	14.6
0.050	122.0	40.7	111.4	37.1	97.9	32.6
0.075	217.5	72.5	198.5	66.2	174.5	58.2
0.100	315.8	105.3	288.2	96.1	253.4	84.5
0.150	525.5	175.2	479.7	159.9	421.6	140.5
0.200	785.2	261.7	716.7	238.9	630.0	210.0
0.250	1055.7	351.9	963.7	321.2	847.1	282.4
0.300	1304.1	434.7	1190.3	396.8	1046.3	348.8
0.400	1573.2	524.4	1436.0	478.7	1262.2	420.7
0.500	1680.4	560.1	1533.8	511.3	1348.2	449.4

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 57, observamos que mediante el ensayo California Bearing Ratio con 5 por ciento de cloruro de magnesio, el contenido de humedad del suelo es del 13.6por ciento en el molde 28, 14.8por ciento en el

molde 38 y 16.1 por ciento en el molde 50. Asimismo, se puede observar que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 560.1, 511.3 y 449.4 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.

## B. Calicata C-2:

### Suelo + 3 por ciento Cloruro de magnesio

- Ensayo Proctor Modificado con 3 por ciento de cloruro de magnesio.

**Tabla N° 58: Proctor Modificado con 3 por ciento de cloruro de magnesio**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO							
			E-1		E-2		E-3		E-4	
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	5989.3		6157.3		6191.4		6107.0	
2	Peso del Molde	gr	3910.0		3910.0		3910.0		3910.0	
3	Peso Suelo Humedo	gr	2079.3		2247.3		2281.4		2197.0	
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	950.0		950.0		950.0		950.0	
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.189		2.366		2.401		2.313	
6	Tarro N°	-	600	560	554	54	239	551	282	216
7	Peso Suelo Humedo + Tarro	gr	471.9	523.8	444.2	411.4	534.0	499.7	633.8	698.5
8	Peso Suelo Seco + Tarro	gr	440.9	487.9	407.5	379.9	487.9	452.0	568.9	628.1
9	Peso del Tarro	gr	70.2	62.3	62.5	67.8	105.0	70.3	109.8	139.6
10	Peso del Agua	gr	31.0	35.9	36.7	31.5	46.1	47.7	64.9	70.4
11	Peso Suelo Seco	gr	370.7	425.6	345.0	312.1	382.9	381.7	459.1	488.5
12	Contenido de Humedad	%	8.4	8.4	10.6	10.1	12.0	12.5	14.1	14.4
13	Promedio de Humedad	%	8.4		10.4		12.3		14.3	
14	Densidad del Suelo Seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.019		2.143		2.138		2.024	

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 58, observamos que en el ensayo Proctor Modificado con 3 por ciento de cloruro de magnesio, el promedio de humedad del suelo es de 8.4, 10.4, 12.3 y 14.3 para los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

- Ensayo California Bearing Ratio con 3 por ciento de cloruro de magnesio.

**Tabla N° 59: CBR (adicionando 3 por ciento cloruro de magnesio) C-2**

DESCRIPCION		COMPACTACION DE ESPECIMENES					
		M-28		M-38		M-50	
Condicion de la Muestra:		Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada
N° Golpes por Capa		56 (5 Capas)		25 (5 Capas)		12 (5 Capas)	
Peso Molde + Suelo Humedo	gr	12062	12116	11818	11917	11523	11664
Peso del Molde	gr	7025	7025	7033.3	7033.3	7042.9	7042.9
Peso del Suelo Humedo	gr	5037	5091	4784.7	4883.7	4480.1	4621.1
Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	2104	2104	2113.3	2113.3	2099.2	2099.2
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.394	2.420	2.264	2.311	2.134	2.201
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.154	2.154	2.036	2.036	1.919	1.919
Tarro N°		193	544	532	387	135	255
Tarro + Suelo Humedo	gr	487.8	500.7	517.9	454.7	527.4	565.6
Tarro + Suelo Seco	gr	448.3	460.9	472.1	413.7	485.9	510.5
Peso del Tarro	gr	94	139	64.2	110.4	116.3	136.3
Contenido de Humedad	%	11.2	12.3	11.2	13.5	11.2	14.7

EXPANSION						
Horas	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion
00:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24:00:00	0.060	1.319	0.082	1.801	0.115	2.513
48:00:00	0.121	2.639	0.165	3.602	0.230	5.025
72:00:00	0.181	3.958	0.247	5.403	0.344	7.538
96:00:00	0.241	5.277	0.329	7.204	0.459	10.051

PENETRACION DE ESPECIMENES						
Molde N°	M-28		M-38		M-50	
	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	39.4	13.1	35.2	11.7	30.8	10.3
0.050	88.0	29.3	78.7	26.2	68.8	22.9
0.075	156.8	52.3	140.4	46.8	122.7	40.9
0.100	227.7	75.9	203.8	67.9	178.1	59.4
0.150	378.9	126.3	339.1	113.0	296.4	98.8
0.200	566.1	188.7	506.7	168.9	442.8	147.6
0.250	761.1	253.7	681.3	227.1	595.4	198.5
0.300	940.1	313.4	841.6	280.5	735.4	245.1
0.400	1134.2	378.1	1015.3	338.4	887.2	295.7
0.500	1211.4	403.8	1084.4	361.5	947.6	315.9

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 59, observamos que mediante el ensayo California Bearing Ratio con 3 por ciento de cloruro de magnesio, el contenido de humedad del suelo es del 12.3 por ciento en el molde 28, 13.5 por ciento en el molde 38 y 14.7 por ciento en el molde 50. Asimismo, se puede observar que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 403.8, 361.5 y 315.9 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.

### Suelo + 4 por ciento Cloruro de magnesio

- Ensayo Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio.

**Tabla N° 60: Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio  
C-2**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO							
			E-1		E-2		E-3		E-4	
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	6033.3		6213.8		6276.8		6198.9	
2	Peso del Molde	gr	3910.0		3910.0		3910.0		3910.0	
3	Peso Suelo Humedo	gr	2123.3		2303.8		2366.8		2288.9	
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	950.0		950.0		950.0		950.0	
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.235		2.425		2.491		2.409	
6	Tarro N°	-	276	192	124	253	239	600	475	125
7	Peso Suelo Humedo + Tarro	gr	470.9	522.6	441.9	412.7	533.9	499.5	632.9	697.5
8	Peso Suelo Seco + Tarro	gr	440.9	487.9	407.5	379.9	487.9	452.0	568.9	628.1
9	Peso del Tarro	gr	70.2	62.3	62.5	67.8	105.0	70.3	109.8	139.6
10	Peso del Agua	gr	30.0	34.7	34.4	32.8	46.0	47.5	64.0	69.4
11	Peso Suelo Seco	gr	370.7	425.6	345.0	312.1	382.9	381.7	459.1	488.5
12	Contenido de Humedad	%	8.1	8.2	10.0	10.5	12.0	12.4	13.9	14.2
13	Promedio de Humedad	%	8.2		10.3		12.2		14.1	
14	Densidad del Suelo Seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.066		2.199		2.220		2.111	

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 60, identificamos que en el ensayo Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio, el promedio de humedad del suelo es de 8.2, 10.3, 12.2 y 14.1 para los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

- Ensayo California Bearing Ratio con 4 por ciento de cloruro de magnesio.

**Tabla N° 61: CBR (adicionando 4 por ciento cloruro de magnesio) C-2**

DESCRIPCION	COMPACTACION DE ESPECIMENES						
	M-21		M-37		M-19		
Molde N°							
Condicion de la Muestra:	Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada	
N° Golpes por Capa	56 (5 Capas)		25 (5 Capas)		12 (5 Capas)		
Peso Molde + Suelo Humedo	gr	12266	12333	11957	12080	11662	11841
Peso del Molde	gr	7032	7032	7025.7	7025.7	7043	7043
Peso del Suelo Humedo	gr	5234	5301	4931.3	5054.3	4619	4798
Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	2109	2109	2106.7	2106.7	2108	2108
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.482	2.514	2.341	2.399	2.191	2.276
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.226	2.226	2.097	2.097	1.963	1.963
Tarro N°		592	210	576	109	162	253
Tarro + Suelo Humedo	gr	401.0	506.0	505.5	594.0	400.7	559.7
Tarro + Suelo Seco	gr	366.4	464.0	464.8	536.2	367.2	499.8
Peso del Tarro	gr	65.6	138.2	115	134.9	77.6	123.6
Contenido de Humedad	%	11.5	12.9	11.6	14.4	11.6	15.9

**EXPANSION**

Horas	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion
00:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24:00:00	0.042	0.920	0.068	1.478	0.099	2.173
48:00:00	0.084	1.839	0.135	2.956	0.199	4.346
72:00:00	0.126	2.759	0.203	4.434	0.298	6.520
96:00:00	0.168	3.679	0.270	5.912	0.397	8.693

**PENETRACION DE ESPECIMENES**

Molde N°	M-21		M-37		M-19	
	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	41.4	13.8	38.5	12.8	35.3	11.8
0.050	93.3	31.1	86.7	28.9	79.5	26.5
0.075	168.6	56.2	156.7	52.2	143.7	47.9
0.100	246.2	82.1	228.8	76.3	209.7	69.9
0.150	415.0	138.3	385.8	128.6	353.6	117.9
0.200	627.5	209.2	583.3	194.4	534.7	178.2
0.250	849.0	283.0	789.2	263.1	723.5	241.2
0.300	1053.2	351.1	979.0	326.3	897.4	299.1
0.400	1274.7	424.9	1184.9	395.0	1086.2	362.1
0.500	1363.1	454.4	1267.1	422.4	1161.5	387.2

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 61, observamos que mediante el ensayo California Bearing Ratio con 4 por ciento de cloruro de magnesio, el contenido

de humedad del suelo es del 12.3 por ciento en el molde 21, 13.5 por ciento en el molde 37 y 14.7 por ciento en el molde 19. Asimismo, se puede observar que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 454.4, 422.4 y 387.2 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.

### Suelo + 5 por ciento Cloruro de magnesio

- Ensayo Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio.

**Tabla N° 62: Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO							
			E-1		E-2		E-3		E-4	
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	6001.0		6189.0		6249.0		6154.9	
2	Peso del Molde	gr	3910.0		3910.0		3910.0		3910.0	
3	Peso Suelo Humedo	gr	2091.0		2279.0		2339.0		2244.9	
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	950.0		950.0		950.0		950.0	
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.201		2.399		2.462		2.363	
6	Tarro N°	-	589	231	316	295	312	495	367	137
7	Peso Suelo Humedo + Tarro	gr	470.8	522.5	442.3	411.1	533.7	499.3	633.4	698.1
8	Peso Suelo Seco + Tarro	gr	440.9	487.9	407.5	379.9	487.9	452.0	568.9	628.1
9	Peso del Tarro	gr	70.2	62.3	62.5	67.8	105.0	70.3	109.8	139.6
10	Peso del Agua	gr	29.9	34.6	34.8	31.2	45.8	47.3	64.5	70.0
11	Peso Suelo Seco	gr	370.7	425.6	345.0	312.1	382.9	381.7	459.1	488.5
12	Contenido de Humedad	%	8.1	8.1	10.1	10.0	12.0	12.4	14.0	14.3
13	Promedio de Humedad	%	8.1		10.1		12.2		14.2	
14	Densidad del Suelo Seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.036		2.179		2.194		2.069	

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 62, se observa que en el ensayo Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio, el promedio de humedad del suelo es de 8.1, 10.1, 12.2 y 14.2 para los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

- Ensayo California Bearing Ratio con 5 por ciento de cloruro de magnesio.



**Tabla N° 63: CBR (adicionando 5 por ciento cloruro de magnesio) C-2**

DESCRIPCION		COMPACTACION DE ESPECIMENES					
Molde N°		M-38		M-26		M-21	
Condicion de la Muestra:		Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada
N° Golpes por Capa		56 (5 Capas)		25 (5 Capas)		12 (5 Capas)	
Peso Molde + Suelo Humedo	gr	12224	12296	11951	12096	11676	11888
Peso del Molde	gr	7033.3	7033.3	7039.3	7039.3	7032	7032
Peso del Suelo Humedo	gr	5190.7	5262.7	4911.7	5056.7	4644	4856
Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	2113.3	2113.3	2113	2113	2109	2109
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.456	2.490	2.325	2.393	2.202	2.303
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.205	2.205	2.088	2.088	1.980	1.980
Tarro N°		30	82	105	231	17	56
Tarro + Suelo Humedo	gr	398.3	551.8	471.8	467.9	527.6	455.5
Tarro + Suelo Seco	gr	368.4	504.6	432.7	418.9	486.3	408.9
Peso del Tarro	gr	106.3	139.6	87.3	83.3	117.4	122.8
Contenido de Humedad	%	11.4	12.9	11.3	14.6	11.2	16.3

EXPANSION						
Horas	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion
00:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24:00:00	0.042	0.925	0.066	1.451	0.098	2.146
48:00:00	0.085	1.850	0.133	2.901	0.196	4.292
72:00:00	0.127	2.775	0.199	4.352	0.294	6.438
96:00:00	0.169	3.701	0.265	5.803	0.392	8.583

PENETRACION DE ESPECIMENES						
Molde N°	M-38		M-26		M-21	
Penetra. (pulg)	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	47.0	15.7	42.5	14.2	38.0	12.7
0.050	106.4	35.5	96.3	32.1	86.2	28.7
0.075	193.7	64.6	175.2	58.4	156.8	52.3
0.100	283.7	94.6	256.6	85.5	229.6	76.5
0.150	481.5	160.5	435.7	145.2	389.8	129.9
0.200	732.5	244.2	662.8	220.9	593.0	197.7
0.250	994.3	331.4	899.6	299.9	804.9	268.3
0.300	1236.0	412.0	1118.3	372.8	1000.6	333.5
0.400	1498.5	499.5	1355.8	451.9	1213.1	404.4
0.500	1603.4	534.5	1450.7	483.6	1298.0	432.7

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 63, observamos que mediante el ensayo California Bearing Ratio con 5 por ciento de cloruro de magnesio, el contenido de humedad del suelo es del 12.9por ciento en el molde 38, 14.6por ciento en el molde 26 y 16.3 por ciento en el molde 21. Asimismo, se puede observar que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 534.5, 483.6 y 432.7 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.

#### 4.2.2.2. Estabilización con cloruro de calcio

##### A. Calicata C-1:

##### Suelo + 1 por ciento Cloruro de calcio

- Ensayo Proctor Modificado con 1 por ciento Cloruro de calcio

**Tabla N° 64: Proctor Modificado con 1 por ciento de cloruro de calcio C-1**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO							
			E-1		E-2		E-3		E-4	
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	5954.4		6129.1		6180.9		6102.3	
2	Peso del Molde	gr	3910.0		3910.0		3910.0		3910.0	
3	Peso Suelo Humedo	gr	2044.4		2219.1		2270.9		2192.3	
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	950.0		950.0		950.0		950.0	
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.152		2.336		2.390		2.308	
6	Tarro N°	-	49	462	237	306	410	479	272	383
7	Peso Suelo Humedo + Tarro	gr	465.1	574.5	429.6	614.4	628.7	568.9	512.0	484.4
8	Peso Suelo Seco + Tarro	gr	438.8	547.9	400.2	570.2	578.5	526.3	458.9	440.1
9	Peso del Tarro	gr	63.2	137.0	61.0	85.8	104.7	135.1	50.8	85.7
10	Peso del Agua	gr	26.3	26.6	29.4	44.2	50.2	42.6	53.1	44.3
11	Peso Suelo Seco	gr	375.6	410.9	339.2	484.4	473.8	391.2	408.1	354.4
12	Contenido de Humedad	%	7.0	6.5	8.7	9.1	10.6	10.9	13.0	12.5
13	Promedio de Humedad	%	6.8		8.9		10.8		12.8	
14	Densidad del Suelo Seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.015		2.145		2.157		2.046	

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 64, observamos que en el ensayo Proctor Modificado con 1 por ciento de cloruro de calcio, el promedio de humedad del suelo es de 6.8, 8.9, 10.8 y 12.8 para los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

- Ensayo California Bearing Ratio con 1 por ciento Cloruro de calcio

**Tabla N° 65: CBR (adicionando 1 por ciento cloruros de calcio) C-2**

DESCRIPCION	COMPACTACION DE ESPECIMENES						
	M-55		M-53		M-41		
Molde N°							
Condicion de la Muestra:	Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada	
N° Golpes por Capa	56 (5 Capas)		25 (5 Capas)		12 (5 Capas)		
Peso Molde + Suelo Humedo	gr	12089	12152	11761	11879	11604	11775
Peso del Molde	gr	7032.5	7032.5	7036.9	7036.9	7036.4	7036.4
Peso del Suelo Humedo	gr	5056.5	5119.5	4724.1	4842.1	4567.6	4738.6
Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	2118.9	2118.9	2099.6	2099.6	2120.8	2120.8
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.386	2.416	2.250	2.306	2.154	2.234
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.165	2.165	2.039	2.040	1.951	1.951
Tarro N°		63	557	184	412	379	169
Tarro + Suelo Humedo	gr	518.6	542.8	375.9	371.3	499.6	620.5
Tarro + Suelo Seco	gr	478.3	499.7	346.3	336.6	459.7	559.1
Peso del Tarro	gr	84.4	127.8	59.6	71.1	76	137.5
Contenido de Humedad	%	10.2	11.6	10.3	13.1	10.4	14.5

EXPANSION						
Horas	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion
00:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24:00:00	0.055	1.204	0.096	2.091	0.109	2.381
48:00:00	0.110	2.409	0.191	4.182	0.218	4.763
72:00:00	0.165	3.613	0.287	6.273	0.326	7.144
96:00:00	0.220	4.817	0.382	8.364	0.435	9.525

PENETRACION DE ESPECIMENES						
Molde N°	M-55		M-53		M-41	
	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	44.8	14.9	40.3	13.4	37.3	12.4
0.050	99.3	33.1	89.4	29.8	82.6	27.5
0.075	174.8	58.3	157.5	52.5	145.5	48.5
0.100	252.5	84.2	227.5	75.8	210.1	70.0
0.150	415.1	138.4	373.9	124.6	345.4	115.1
0.200	613.3	204.4	552.4	184.1	510.3	170.1
0.250	819.5	273.2	738.2	246.1	681.9	227.3
0.300	1008.1	336.0	908.0	302.7	838.8	279.6
0.400	1212.1	404.0	1091.8	363.9	1008.6	336.2
0.500	1293.2	431.1	1164.9	388.3	1076.0	358.7

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 65, observamos que mediante el ensayo California Bearing Ratio con 1 por ciento de cloruro de calcio, el contenido de humedad del suelo es del 11.6 por ciento en el molde 55, 13.1 por ciento en el molde 53 y 14.5 por ciento en el molde 41. Asimismo, se puede observar que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 431.1, 388.3 y 358.7 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.

### Suelo + 1.5 por ciento Cloruro de calcio

- Ensayo Proctor Modificado con 1.5 por ciento Cloruro de calcio

**Tabla N° 66: Proctor Modificado con 1.5 por ciento de cloruro de calcio C-1**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO							
			E-1		E-2		E-3		E-4	
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	5991.9		6163.9		6207.6		6134.5	
2	Peso del Molde	gr	3910.0		3910.0		3910.0		3910.0	
3	Peso Suelo Humedo	gr	2081.9		2253.9		2297.6		2224.5	
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	950.0		950.0		950.0		950.0	
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.191		2.373		2.419		2.342	
6	Tarro N°	-	527	160	24	16	248	206	460	584
7	Peso Suelo Humedo + Tarro	gr	593.1	563.6	415.3	441.8	464.7	506.0	561.3	461.2
8	Peso Suelo Seco + Tarro	gr	561.7	531.9	385.3	411.4	426.5	461.6	503.7	415.3
9	Peso del Tarro	gr	102.8	82.2	63.6	65.9	69.2	65.0	64.6	61.3
10	Peso del Agua	gr	31.4	31.7	30.0	30.4	38.2	44.4	57.6	45.9
11	Peso Suelo Seco	gr	458.9	449.7	321.7	345.5	357.3	396.6	439.1	364.0
12	Contenido de Humedad	%	6.8	7.0	9.3	8.8	10.7	11.2	13.1	13.0
13	Promedio de Humedad	%	6.9		9.1		11.0		13.1	
14	Densidad del Suelo Seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.050		2.175		2.179		2.071	

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 66, observamos que en el ensayo Proctor Modificado con 1.5 por ciento de cloruro de calcio, el promedio de humedad del suelo es de 6.9, 9.1, 11.0 y 13.1 para los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

- Ensayo California Bearing Ratio con 1.5 por ciento Cloruro de calcio

**Tabla N° 67: CBR (adicionando 1.5 por ciento cloruro de calcio) C-1**

DESCRIPCION	COMPACTACION DE ESPECIMENES						
	M-26		M-19		M-51		
Molde N°							
Condicion de la Muestra:	Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada	
N° Golpes por Capa	56 (5 Capas)		25 (5 Capas)		12 (5 Capas)		
Peso Molde + Suelo Humedo	gr	12138	12211	11886	11987	11610	11734
Peso del Molde	gr	7039.3	7039.3	7043	7043	7028.2	7028.2
Peso del Suelo Humedo	gr	5098.7	5171.7	4843	4944	4581.8	4705.8
Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	2113	2113	2108	2108	2107.8	2107.8
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.413	2.448	2.297	2.345	2.174	2.233
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.189	2.189	2.086	2.086	1.975	1.975
Tarro N°		551	240	250	565	523	254
Tarro + Suelo Humedo	gr	447.6	456.6	365.8	461.0	460.6	414.3
Tarro + Suelo Seco	gr	417.5	415.5	338.3	423.1	426.9	375.3
Peso del Tarro	gr	123.4	67.9	67	118.6	91.9	76.9
Contenido de Humedad	%	10.2	11.8	10.1	12.4	10.1	13.1

### EXPANSION

Horas	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion
00:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24:00:00	0.055	1.193	0.088	1.916	0.105	2.299
48:00:00	0.109	2.387	0.175	3.832	0.210	4.598
72:00:00	0.164	3.580	0.263	5.748	0.315	6.897
96:00:00	0.218	4.773	0.350	7.664	0.420	9.197

### PENETRACION DE ESPECIMENES

Molde N°	M-26		M-19		M-51	
	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	50.5	16.8	43.0	14.3	34.4	11.5
0.050	112.4	37.5	95.6	31.9	76.6	25.5
0.075	199.1	66.4	169.3	56.4	135.7	45.2
0.100	288.3	96.1	245.2	81.7	196.5	65.5
0.150	476.7	158.9	405.5	135.2	325.1	108.4
0.200	708.3	236.1	602.5	200.8	482.9	161.0
0.250	949.3	316.4	807.6	269.2	647.3	215.8
0.300	1170.2	390.1	995.4	331.8	797.9	266.0
0.400	1409.4	469.8	1198.9	399.6	961.0	320.3
0.500	1504.5	501.5	1279.8	426.6	1025.8	341.9

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 67, se puede observar que mediante el ensayo California Bearing Ratio con 1.5 por ciento de cloruro de calcio, el contenido de humedad del suelo es del 11.8 por ciento en el molde 26, 12.4 por ciento en el molde 19 y 13.1 por ciento en el molde 51. Asimismo, se puede observar que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 501.5, 426.6 y 341.9 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.

 **Suelo + 2 por ciento Cloruro de calcio**

- Ensayo Proctor Modificado con 2 por ciento Cloruro de calcio

**Tabla N° 68: Proctor Modificado con 2 por ciento de cloruro de calcio C-1**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO							
			E-1		E-2		E-3		E-4	
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	6008.6		6171.6		6249.9		6192.4	
2	Peso del Molde	gr	3910.0		3910.0		3910.0		3910.0	
3	Peso Suelo Humedo	gr	2098.6		2261.6		2339.9		2282.4	
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	950.0		950.0		950.0		950.0	
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.209		2.381		2.463		2.403	
6	Tarro N°	-	286	409	295	576	91	85	308	565
7	Peso Suelo Humedo + Tarro	gr	498.4	532.8	656.2	516.0	498.8	640.7	620.4	436.3
8	Peso Suelo Seco + Tarro	gr	473.4	506.1	613.9	481.3	456.2	586.3	557.5	394.7
9	Peso del Tarro	gr	97.0	132.0	139.6	80.0	61.0	87.2	67.3	69.5
10	Peso del Agua	gr	25.0	26.7	42.3	34.7	42.6	54.4	62.9	41.6
11	Peso Suelo Seco	gr	376.4	374.1	474.3	401.3	395.2	499.1	490.2	325.2
12	Contenido de Humedad	%	6.6	7.1	8.9	8.6	10.8	10.9	12.8	12.8
13	Promedio de Humedad	%	6.9		8.8		10.9		12.8	
14	Densidad del Suelo Seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.066		2.188		2.221		2.130	

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 68, observamos que en el ensayo Proctor Modificado con 2 por ciento de cloruro de calcio, el promedio de humedad del suelo es de 6.9, 8.8, 10.9 y 12.8 para los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

- Ensayo California Bearing Ratio con 2 por ciento Cloruro de calcio

**Tabla N° 69: CBR (adicionando 2 por ciento cloruro de calcio) C-1**

DESCRIPCION	COMPACTACION DE ESPECIMENES						
	M-47		M-18		M-16		
Molde N°							
Condicion de la Muestra:	Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada	
N° Golpes por Capa	56 (5 Capas)		25 (5 Capas)		12 (5 Capas)		
Peso Molde + Suelo Humedo	gr	12198	12288	11873	12021	11574	11775
Peso del Molde	gr	7040.2	7040.2	7021	7021	7017	7017
Peso del Suelo Humedo	gr	5157.8	5247.8	4852	5000	4557	4758
Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	2101.7	2101.7	2098	2098	2081	2081
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.454	2.497	2.313	2.383	2.190	2.286
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.225	2.225	2.096	2.096	1.985	1.985
Tarro N°		170	26	136	363	344	301
Tarro + Suelo Humedo	gr	545.3	463.9	551.8	583.7	493.7	542.8
Tarro + Suelo Seco	gr	507.3	428.3	512.1	527.5	460.0	485.8
Peso del Tarro	gr	138.3	137.3	128	117.4	133.4	111.3
Contenido de Humedad	%	10.3	12.2	10.3	13.7	10.3	15.2

EXPANSION						
Horas	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion
00:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24:00:00	0.051	1.106	0.073	1.598	0.098	2.146
48:00:00	0.101	2.212	0.146	3.197	0.196	4.292
72:00:00	0.152	3.317	0.219	4.795	0.294	6.438
96:00:00	0.202	4.423	0.292	6.394	0.392	8.583

PENETRACION DE ESPECIMENES						
Molde N°	M-47		M-18		M-16	
	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	82.2	27.4	63.1	21.0	47.9	16.0
0.050	179.7	59.9	137.8	45.9	104.7	34.9
0.075	309.2	103.1	237.1	79.0	180.1	60.0
0.100	441.9	147.3	338.9	113.0	257.4	85.8
0.150	708.7	236.2	543.6	181.2	412.8	137.6
0.200	1022.1	340.7	784.0	261.3	595.4	198.5
0.250	1347.7	449.2	1033.7	344.6	785.1	261.7
0.300	1642.7	547.6	1259.9	420.0	956.9	319.0
0.400	1960.9	653.6	1504.0	501.3	1142.3	380.8
0.500	2086.5	695.5	1600.3	533.4	1215.4	405.1

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 69, se puede observar que mediante el ensayo California Bearing Ratio con 2 por ciento de cloruro de calcio, el contenido de humedad del suelo es del 12.2 por ciento en el molde 47, 13.7 por ciento en el molde 18 y 15.2 por ciento en el molde 16. Asimismo, se puede observar que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 695.5, 533.4 y 405.1 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.

## B. Calicata C-2:



### Suelo + 1 por ciento Cloruro de calcio

- Ensayo Proctor Modificado con 1 por ciento Cloruro de calcio

**Tabla N° 70: Proctor Modificado con 1 por ciento de cloruro de calcio C-2**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO							
			E-1		E-2		E-3		E-4	
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	5962.1		6119.3		6196.5		6103.9	
2	Peso del Molde	gr	3910.0		3910.0		3910.0		3910.0	
3	Peso Suelo Humedo	gr	2052.1		2209.3		2286.5		2193.9	
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	950.0		950.0		950.0		950.0	
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.160		2.326		2.407		2.309	
6	Tarro N°	-	49	462	237	306	410	479	272	383
7	Peso Suelo Humedo + Tarro	gr	412.3	535.3	469.9	569.9	555.7	516.4	443.8	622.9
8	Peso Suelo Seco + Tarro	gr	388.6	504.6	439.1	528.4	509.3	473.9	405.2	562.5
9	Peso del Tarro	gr	69.4	61.9	104.6	67.7	94.6	78.2	102.3	97.6
10	Peso del Agua	gr	23.7	30.7	30.8	41.5	46.4	42.5	38.6	60.4
11	Peso Suelo Seco	gr	319.2	442.7	334.5	460.7	414.7	395.7	302.9	464.9
12	Contenido de Humedad	%	7.4	6.9	9.2	9.0	11.2	10.7	12.7	13.0
13	Promedio de Humedad	%	7.2		9.1		11.0		12.9	
14	Densidad del Suelo Seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.015		2.132		2.168		2.045	

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 70, observamos que en el ensayo Proctor Modificado con 1 por ciento de cloruro de calcio, el promedio de humedad del suelo es de 7.2, 9.1, 11.0 y 12.9 para los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.



- Ensayo California Bearing Ratio con 1 por ciento Cloruro de calcio

**Tabla N° 71: CBR (adicionando 1 por ciento de cloruro de calcio) C-2**

DESCRIPCION	COMPACTACION DE ESPECIMENES						
	M-55		M-53		M-41		
Molde N°							
Condicion de la Muestra:	Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada	
N° Golpes por Capa	56 (5 Capas)		25 (5 Capas)		12 (5 Capas)		
Peso Molde + Suelo Humedo	gr	12126	12192	11851	11976	11622	11801
Peso del Molde	gr	7032.5	7032.5	7036.9	7036.9	7036.4	7036.4
Peso del Suelo Humedo	gr	5093.5	5159.5	4814.1	4939.1	4585.6	4764.6
Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	2118.9	2118.9	2099.6	2099.6	2120.8	2120.8
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.404	2.435	2.293	2.352	2.162	2.247
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.171	2.171	2.069	2.069	1.950	1.949
Tarro N°		63	557	184	412	379	169
Tarro + Suelo Humedo	gr	520.6	544.9	377.3	373.0	501.5	623.4
Tarro + Suelo Seco	gr	478.3	499.7	346.3	336.6	459.7	559.1
Peso del Tarro	gr	84.4	127.8	59.6	71.1	76	137.5
Contenido de Humedad	%	10.7	12.2	10.8	13.7	10.9	15.2

EXPANSION						
Horas	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion
00:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24:00:00	0.054	1.171	0.094	2.047	0.104	2.266
48:00:00	0.107	2.343	0.187	4.095	0.207	4.533
72:00:00	0.161	3.514	0.281	6.142	0.311	6.799
96:00:00	0.214	4.686	0.374	8.189	0.414	9.065

PENETRACION DE ESPECIMENES						
Molde N°	M-55		M-53		M-41	
	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg2	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg2	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg2
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	40.3	13.4	37.8	12.6	34.6	11.5
0.050	90.1	30.0	84.4	28.1	77.3	25.8
0.075	160.6	53.5	150.5	50.2	137.8	45.9
0.100	233.2	77.7	218.5	72.8	200.1	66.7
0.150	388.0	129.3	363.6	121.2	333.0	111.0
0.200	579.8	193.3	543.3	181.1	497.6	165.9
0.250	779.5	259.8	730.4	243.5	669.0	223.0
0.300	962.9	321.0	902.2	300.7	826.4	275.5
0.400	1161.6	387.2	1088.4	362.8	997.0	332.3
0.500	1240.7	413.6	1162.6	387.5	1064.9	355.0

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 71, se puede observar que mediante el ensayo California Bearing Ratio con 1 por ciento de cloruro de calcio, el contenido de humedad del suelo es del 12.2 por ciento en el molde 55, 13.7 por ciento en el molde 53 y 15.2 por ciento en el molde 41. Asimismo, se puede observar que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 413.6, 387.5 y 355.0 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.

**Tabla N° 72: Proctor Modificado con 1.5 por ciento de cloruro de calcio C-2**



**Suelo + 1.5 por ciento Cloruro de calcio**

- Ensayo Proctor Modificado con 1.5 por ciento Cloruro de calcio

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 72, identificamos que en el ensayo Proctor

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO							
			E-1		E-2		E-3		E-4	
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	5956.0		6131.2		6182.0		6117.9	
2	Peso del Molde	gr	3910.0		3910.0		3910.0		3910.0	
3	Peso Suelo Humedo	gr	2046.0		2221.2		2272.0		2207.9	
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	950.0		950.0		950.0		950.0	
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.154		2.338		2.392		2.324	
6	Tarro N°	-	201	562	327	163	152	59	590	217
7	Peso Suelo Humedo + Tarro	gr	462.8	572.1	428.1	609.8	625.8	566.6	509.4	482.1
8	Peso Suelo Seco + Tarro	gr	438.8	547.9	400.2	570.2	578.5	526.3	458.9	440.1
9	Peso del Tarro	gr	63.2	137.0	61.0	85.8	104.7	135.1	50.8	85.7
10	Peso del Agua	gr	24.0	24.2	27.9	39.6	47.3	40.3	50.5	42.0
11	Peso Suelo Seco	gr	375.6	410.9	339.2	484.4	473.8	391.2	408.1	354.4
12	Contenido de Humedad	%	6.4	5.9	8.2	8.2	10.0	10.3	12.4	11.9
13	Promedio de Humedad	%	6.2		8.2		10.2		12.2	
14	Densidad del Suelo Seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.028		2.161		2.171		2.071	

Modificado con 1.5 por ciento de cloruro de calcio, el promedio de humedad del suelo es de 6.2, 8.2, 10.2 y 12.2 para los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

- Ensayo California Bearing Ratio con 1.5 por ciento Cloruro de calcio

**Tabla N° 73: CBR (adicionando 1.5 por ciento de cloruro de calcio) C-2**

DESCRIPCION		COMPACTACION DE ESPECIMENES					
Molde N°		M-54		M-57		M-15	
Condicion de la Muestra:		Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada
N° Golpes por Capa		56 (5 Capas)		25 (5 Capas)		12 (5 Capas)	
Peso Molde + Suelo Humedo	gr	12052	12134	11826	11962	11618	11804
Peso del Molde	gr	7037.2	7037.2	7039.4	7039.4	7043	7043
Peso del Suelo Humedo	gr	5014.8	5096.8	4786.6	4922.6	4575	4761
Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	2103.5	2103.5	2103.5	2103.5	2135	2135
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.384	2.423	2.276	2.340	2.143	2.230
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.181	2.181	2.083	2.083	1.963	1.963

EXPANSION						
Horas	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion
00:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24:00:00	0.052	1.139	0.086	1.872	0.104	2.277
48:00:00	0.104	2.277	0.171	3.744	0.208	4.554
72:00:00	0.156	3.416	0.257	5.616	0.312	6.832
96:00:00	0.208	4.554	0.342	7.489	0.416	9.109

PENETRACION DE ESPECIMENES						
Molde N°	M-54		M-57		M-15	
Penetra. (pulg)	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	44.4	14.8	38.4	12.8	31.0	10.3
0.050	99.8	33.3	86.4	28.8	69.7	23.2
0.075	179.7	59.9	155.6	51.9	125.5	41.8
0.100	262.1	87.4	226.9	75.6	182.9	61.0
0.150	440.3	146.8	381.2	127.1	307.4	102.5
0.200	663.8	221.3	574.7	191.6	463.3	154.4
0.250	896.7	298.9	776.4	258.8	625.9	208.6
0.300	1111.2	370.4	962.0	320.7	775.6	258.5
0.400	1343.8	447.9	1163.4	387.8	937.9	312.6
0.500	1436.6	478.9	1243.7	414.6	1002.7	334.2

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 73, se puede observar que mediante el ensayo California Bearing Ratio con 1.5 por ciento de cloruro de calcio, el contenido de humedad del suelo es del 11.1 por ciento en el molde 54, 12.3 por ciento en el molde 57 y 13.6 por ciento en el molde 15. Asimismo, se puede observar que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 478.9, 414.6 y 334.2 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.



### Suelo + 2 por ciento Cloruro de calcio

- Ensayo Proctor Modificado con 2 por ciento Cloruro de calcio

**Tabla N° 74: Proctor Modificado con 2 por ciento de cloruro de calcio C-2**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO							
			E-1		E-2		E-3		E-4	
1	Peso Suelo Humedo + Molde	gr	6008.6		6171.6		6249.9		6192.4	
2	Peso del Molde	gr	3910.0		3910.0		3910.0		3910.0	
3	Peso Suelo Humedo	gr	2098.6		2261.6		2339.9		2282.4	
4	Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	950.0		950.0		950.0		950.0	
5	Densidad Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.209		2.381		2.463		2.403	
6	Tarro N°	-	286	409	295	576	91	85	308	565
7	Peso Suelo Humedo + Tarro	gr	498.4	532.8	656.2	516.0	498.8	640.7	620.4	436.3
8	Peso Suelo Seco + Tarro	gr	473.4	506.1	613.9	481.3	456.2	586.3	557.5	394.7
9	Peso del Tarro	gr	97.0	132.0	139.6	80.0	61.0	87.2	67.3	69.5
10	Peso del Agua	gr	25.0	26.7	42.3	34.7	42.6	54.4	62.9	41.6
11	Peso Suelo Seco	gr	376.4	374.1	474.3	401.3	395.2	499.1	490.2	325.2
12	Contenido de Humedad	%	6.6	7.1	8.9	8.6	10.8	10.9	12.8	12.8
13	Promedio de Humedad	%	6.9		8.8		10.9		12.8	
14	Densidad del Suelo Seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.066		2.188		2.221		2.130	

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 74, identificamos que en el ensayo Proctor Modificado con 2 por ciento de cloruro de calcio, el promedio de humedad del suelo es de 6.9, 8.8, 10.9 y 12.8 para los ensayos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

- Ensayo California Bearing Ratio con 2 por ciento Cloruro de calcio

**Tabla Nº 75: CBR (adicionando 2 por ciento de cloruro de calcio) C-2**

DESCRIPCION	COMPACTACION DE ESPECIMENES						
	M-47		M-18		M-16		
Molde Nº							
Condicion de la Muestra:	Seca	Saturada	Seca	Saturada	Seca	Saturada	
Nº Golpes por Capa	56 (5 Capas)		25 (5 Capas)		12 (5 Capas)		
Peso Molde + Suelo Humedo	gr	12198	12288	11873	12021	11574	11775
Peso del Molde	gr	7040.2	7040.2	7021	7021	7017	7017
Peso del Suelo Humedo	gr	5157.8	5247.8	4852	5000	4557	4758
Volumen del Molde	cm <sup>3</sup>	2101.7	2101.7	2098	2098	2081	2081
Densidad Humeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.454	2.497	2.313	2.383	2.190	2.286
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.225	2.225	2.096	2.096	1.985	1.985
Tarro Nº		170	26	136	363	344	301
Tarro + Suelo Humedo	gr	545.3	463.9	551.8	583.7	493.7	542.8
Tarro + Suelo Seco	gr	507.3	428.3	512.1	527.5	460.0	485.8
Peso del Tarro	gr	138.3	137.3	128	117.4	133.4	111.3
Contenido de Humedad	%	10.3	12.2	10.3	13.7	10.3	15.2

EXPANSION						
Horas	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion	Lec. Pulg	Expansion
00:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24:00:00	0.051	1.106	0.073	1.598	0.098	2.146
48:00:00	0.101	2.212	0.146	3.197	0.196	4.292
72:00:00	0.152	3.317	0.219	4.795	0.294	6.438
96:00:00	0.202	4.423	0.292	6.394	0.392	8.583

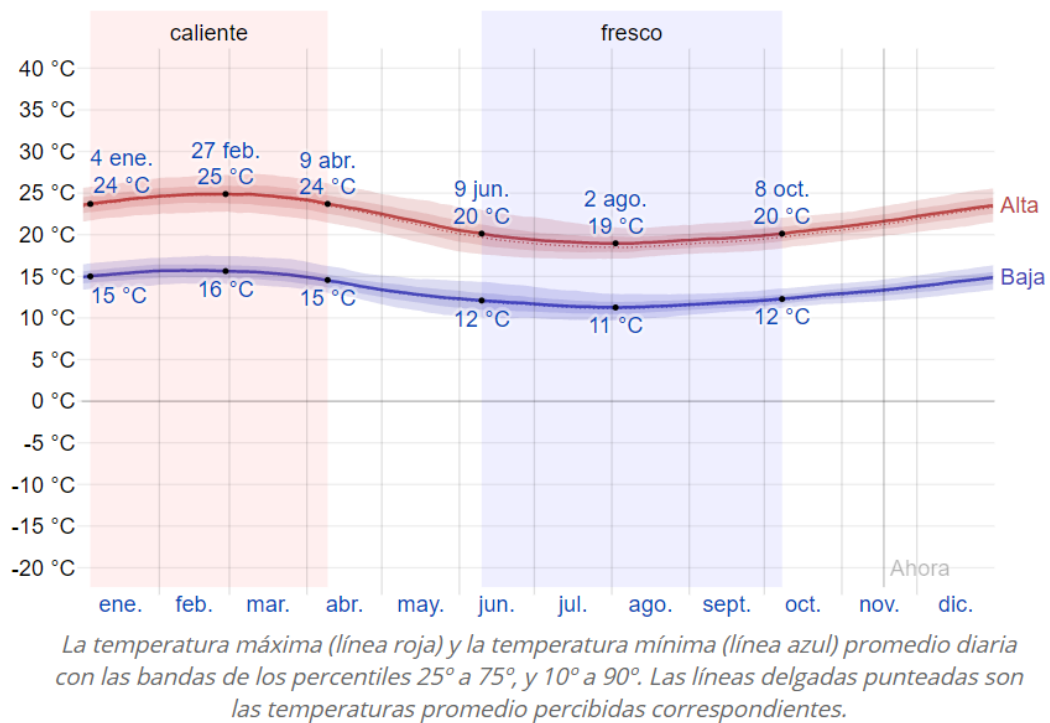
PENETRACION DE ESPECIMENES						
Molde Nº	M-47		M-18		M-16	
	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>	Lec. Dial Lb	Carga Lb/pulg <sup>2</sup>
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	82.2	27.4	63.1	21.0	47.9	16.0
0.050	179.7	59.9	137.8	45.9	104.7	34.9
0.075	309.2	103.1	237.1	79.0	180.1	60.0
0.100	441.9	147.3	338.9	113.0	257.4	85.8
0.150	708.7	236.2	543.6	181.2	412.8	137.6
0.200	1022.1	340.7	784.0	261.3	595.4	198.5
0.250	1347.7	449.2	1033.7	344.6	785.1	261.7
0.300	1642.7	547.6	1259.9	420.0	956.9	319.0
0.400	1960.9	653.6	1504.0	501.3	1142.3	380.8
0.500	2086.5	695.5	1600.3	533.4	1215.4	405.1

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 75, se puede observar que mediante el ensayo California Bearing Ratio con 1.5 por ciento de cloruro de calcio, el contenido de humedad del suelo es del 12.2 por ciento en el molde 47, 13.7 por ciento en el molde 18 y 15.2 por ciento en el molde 16. Asimismo, se puede observar que a 0.5 libras de carga aplicada, conseguimos 695.5, 533.4 y 405.1 de resistencia del suelo expresados en lb/pulgadas<sup>2</sup> a 56, 25 y 12 golpes de compactación respectivamente.

### 4.3. Parámetros climáticos

#### 4.3.1. Temperatura en el distrito de Lurigancho – Chosica



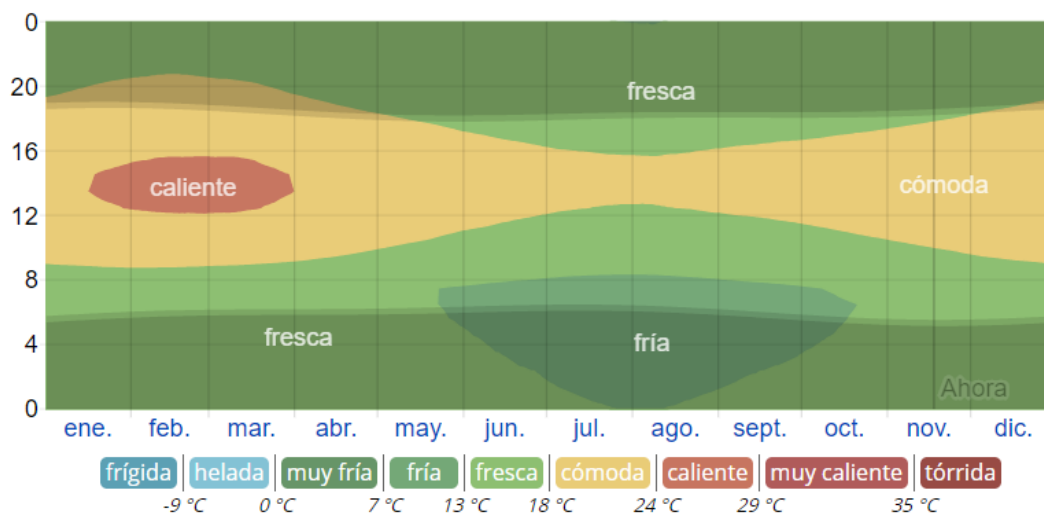
**Figura N° 10: Temperatura máxima y mínima promedio en el distrito de Lurigancho – Chosica**

**Fuente:** SENAMHI.

En la Figura N° 10, se observa que la temperatura máxima en el distrito de Chosica fue de 25°C y se registró en el mes de febrero, mientras que la más baja fue de 11°C en el mes de agosto, en el año 2019.

En la Figura N° 11, observamos que la temperatura promedio por hora en el distrito de Lurigancho-Chosica, se clasifica entre fría, fresca y

caliente. Fría desde la media noche hasta las 4 horas y entre los meses de junio y octubre.

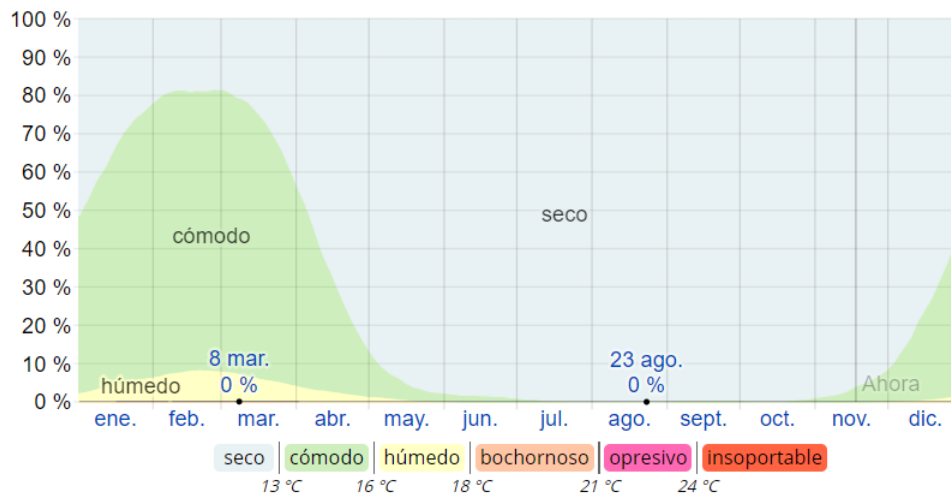


La temperatura promedio por hora, codificada por colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil.

**Figura Nº 11: Temperatura promedio por hora en el distrito de Lurigancho – Chosica**

Fuente: SENAMHI.

#### 4.3.2. Humedad en el distrito de Lurigancho – Chosica

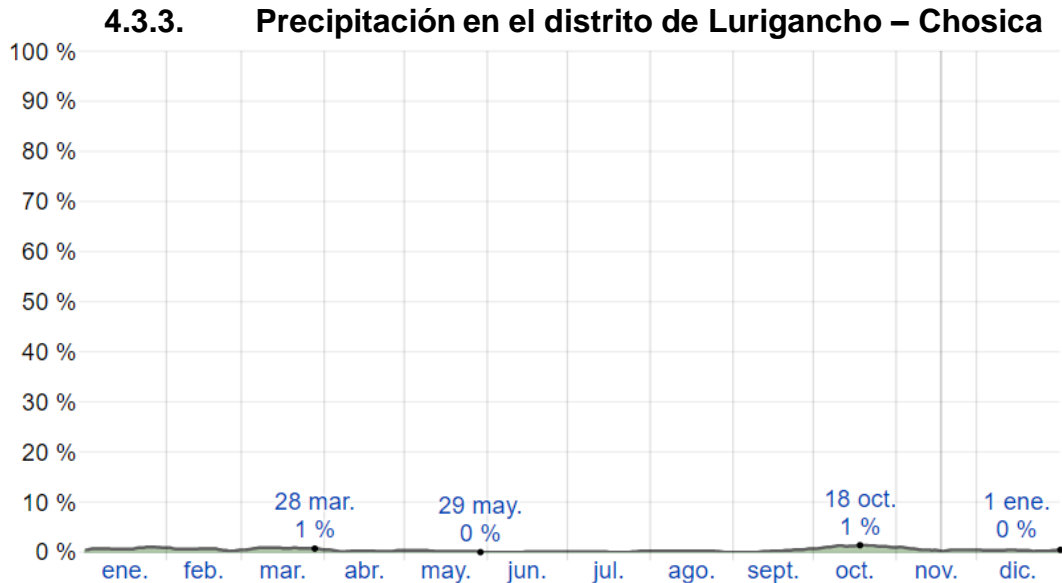


El porcentaje de tiempo pasado en varios niveles de comodidad de humedad, categorizado por el punto de rocío.

**Figura Nº 12: Niveles de comodidad de la humedad en el distrito de Lurigancho – Chosica**

Fuente: SENAMHI.

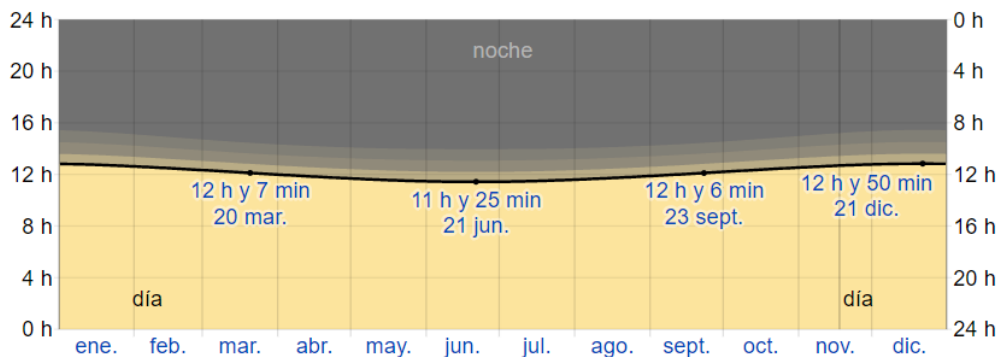
En la Figura N° 12, se observan los niveles de comodidad de la humedad en el distrito de Lurigancho-Chosica, identificando 0 por ciento del mismo en las fechas 08 de marzo y 23 de agosto del 2019.



**Figura N° 13: Probabilidad diaria de precipitación en el distrito de Lurigancho – Chosica.**

Fuente: SENAMHI.

En la Figura N° 13, observamos que la probabilidad diaria de precipitación en el distrito de Lurigancho-Chosica oscila entre el 0 y 1 por ciento, durante los meses de marzo y octubre del 2019.



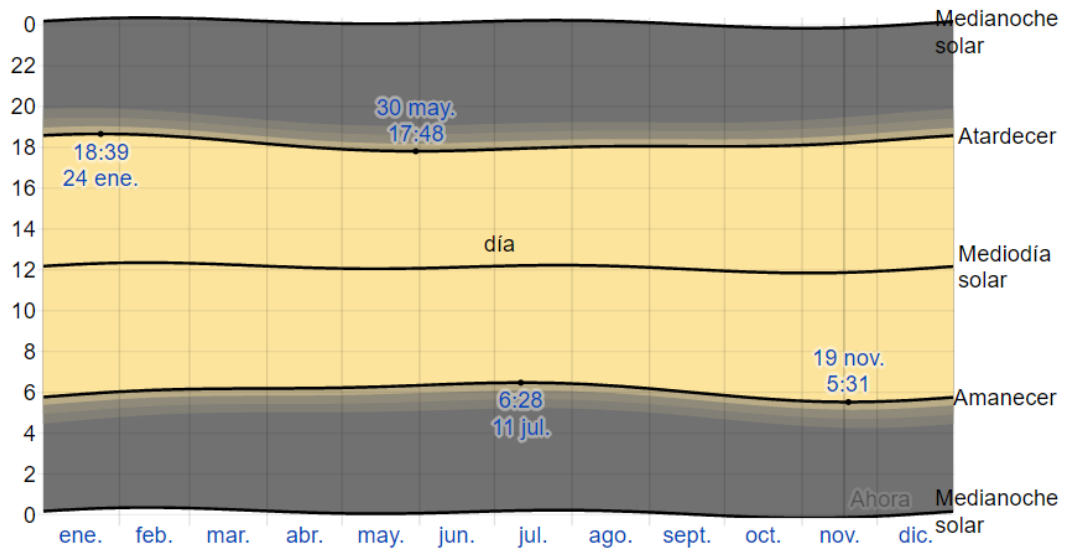
*La cantidad de horas durante las cuales el sol está visible (línea negra). De abajo (más amarillo) hacia arriba (más gris), las bandas de color indican: luz natural total, crepúsculo (civil, náutico y astronómico) y noche total.*

**Figura N° 14: Horas de luz natural y crepúsculo en el distrito de Lurigancho – Chosica**

Fuente: SENAMHI.



En la Figura N° 14, se observa que las horas durante las cuales el sol está visible en el distrito de Lurigancho-Chosica, fueron entre las 11 y 13 horas.



*El día solar durante el año 2019. De abajo hacia arriba, las líneas negras son la medianoche solar anterior, la salida del sol, el mediodía solar, la puesta del sol y la siguiente medianoche solar. El día, los crepúsculos (civil, náutico y astronómico) y la noche se indican por el color de las bandas, de amarillo a gris.*

**Figura N° 15: Salida sol y puesta del sol con crepúsculo en el distrito de Lurigancho – Chosica**

**Fuente:** SENAMHI.

En la Figura N° 15, observamos que la salida del sol en el distrito de Lurigancho-Chosica es a las 6 horas, mientras que la puesta del sol comienza a las 18 horas.

#### 4.4. Demanda del proyecto

##### 4.4.1. Cálculo del IMDA











Una vez realizado el conteo de vehículos, procedemos a calcular el IMDA actual.

Para ello se saca un promedio de cada tipo de vehículo que se contó durante la semana y se multiplica por un factor de corrección estacionario. El factor de corrección estacionario trata de nivelar el conteo hecho, pues en muchas ocasiones en algunos meses hay mayor paso de vehículos que en otros. El factor de corrección se obtiene de una estación o peaje cercano al proyecto. Para ello se va a la página WEB de la SUTRAN.

Para nuestro caso, ya que la vía en estudio queda en Lima, el peaje más cercano es Corcona. Finalmente, se busca en la página web del MTC los factores de corrección promedio del peaje en cuestión, en los cuales aparece un cierto valor para vehículos livianos y otro para vehículos pesados. Esta tabla con los factores se encuentra en el anexo.

En la Tabla N° 76, se muestra el IMDA actual calculado por cada tipo de vehículo. Así mismo, el IMDA de todos los vehículos (la suma de todos) es de 155 vehículos por día.

**Tabla N° 76: IMDA actual por tipo de vehículos**

VEHICULOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION	
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E
DÍAS										
LUNES	129	12	7	0	6	0	0	0	0	0
MARTES	114	14	0	0	4	0	0	0	0	0
MIÉRCOLES	109	9	2	0	2	0	0	0	3	1
JUEVES	131	13	4	0	10	0	0	0	0	0
VIERNES	126	17	0	0	3	0	0	0	3	2
SÁBADO	142	9	3	0	2	0	0	0	0	0
DOMINGO	178	21	6	0	8	2	0	0	0	0
TOTAL VEH/SEM	929	95	22	0	35	2	0	0	6	3
IMDS (Semanal)	132.71	13.57	3.14	0.00	5.00	0.29	0.00	0.00	0.86	0.43
FACTOR DE CORRECCION	0.99	0.99	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
IMDA 2019	131.28	13.42	3.11	0.00	4.87	0.28	0.00	0.00	0.83	0.42

**Fuente:** Elaborado por los autores.

Como se sabe, el IMDA y/o los Ejes Equivalentes con los cuales se diseñará la vía se realiza con una proyección a futuro. Para este caso, la vía se diseñará para un periodo de 10 años.

Definido el horizonte de serviciabilidad, debemos conocer la tasa de crecimiento vehicular. La tasa de crecimiento vehicular se obtuvo del informe técnico de flujo vehicular por unidad de peaje que brinda el INEI con 2 meses de retraso.

En la siguiente tabla se muestra la tasa de crecimiento vehicular hasta agosto del 2019, con los cuales se calculará el IMDA para el 2029.

**Tabla N° 77: Tabla de crecimiento vehicular**

<b>TABLA DE CRECIMIENTO VEHICULAR</b>	LIGEROS	5.70%
	BUSES	3.80%
	PESADOS	4.90%

**Fuente:** Elaborado por los autores.











En la Tabla N° 77, se muestra la tasa de crecimiento vehicular, según peso, obtenido en base al horizonte de serviciabilidad brindado por el MTC.

La fórmula a emplear para obtener el IMDA al 2029 será la siguiente:

$$IMDA\ 2029 = IMDA\ 2019 * (1 + r)^n$$

Para el cálculo, se empleará la tasa es menos favorable, es decir la tasa de crecimiento de vehículos ligeros, pues con ello tendremos una mayor amplitud de vida útil de la vía a diseñar.

**Tabla N° 78: IMDA al 2029 por cada tipo de vehículo**

VEHICULOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION	
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E
DÍAS										
IMDA 2019	131.28	13.42	3.11	0.00	4.87	0.28	0.00	0.00	0.83	0.42
IMDA 2029	228.53	23.37	5.41	0.00	8.48	0.48	0.00	0.00	1.45	0.73

**Fuente:** Elaborado por los autores.

La Tabla N° 78, muestra el IMDA proyectado al 2029, por cada tipo de vehículo. Asimismo, se puede observar que el vehículo que presenta mayor tasa de crecimiento es el auto, con un 42.6 por ciento.

El IMDA final al 2029 es de:

**IMDA (2029)= 269 Veh/día**

#### 4.4.2. Cálculo de número de repeticiones de ejes Equiv. (ESAL)

Para calcular el número de repeticiones de ejes equivalentes se usa el IMDA del 2019 corregido, pues en la fórmula del ESAL se debe incorporar la tasa de crecimiento vehicular y el periodo de vida útil del proyecto.

Para obtener los ejes equivalentes agruparemos todos los vehículos que tienen ejes simples, es decir, desde los autos hasta los micros. Los

camiones de 2 ejes y 3 ejes que también están presentes en el conteo de vehículos estarán separados tal y como lo muestra la siguiente tabla:


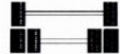

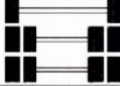

**Tabla N° 79: Cálculo de ejes equivalentes**

TIPOS DE VEHICULOS	IMDA 2019	CARGA VEH EJE	EJE EQUIVALENTE (f)	f. IMDA
Autos, camionetas, combis y micros	152.96	1	0.000527017	0.08061377
	152.96	1	0.000527017	0.08061377
C2 (camión 2 ejes)	0.83	7	1.265366749	1.056292008
	0.83	11	3.238286961	2.703229432
C3 (camión 3 ejes)	0.42	7	1.265366749	0.528146004
	0.42	18	2.019213454	0.84279085

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 79, observamos el eje equivalente y el factor del IMDA, por cada tipo de vehículo. Para el cálculo de los ejes equivalentes se

**Tabla N° 81: Configuración de ejes.**  
fuente: MTC manual de carreteras sección suelos y pavimentos

<b>EJE SIMPLE</b> (Con Rueda Doble)	1RD	04	
<b>EJE TANDEM</b> (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
<b>EJE TANDEM</b> (Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
<b>EJE TRIDEM</b> (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
<b>EJE TRIDEM</b> (Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

**Nota.:**  
RS : Rueda Simple  
RD: Rueda Doble

**Tabla N° 80: factores de distribución y carril.** fuente: MTC manual de carreteras sección suelos y pavimentos

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

utilizaron las tablas del MTC para diseño de tránsito, las cuales se presentan en: tabla N°80, tabla N°81

**Fuente:** MTC – 2014.

**Tabla N° 82: Relación de cargas por eje para determinar Ejes Equivalentes.**

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE <sub>s,2tn</sub> )
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	EE <sub>S1</sub> = [ P / 6.6 ] <sup>4.0</sup>
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	EE <sub>S2</sub> = [ P / 8.2 ] <sup>4.0</sup>
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TA1</sub> )	EE <sub>TA1</sub> = [ P / 14.8 ] <sup>4.0</sup>
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TA2</sub> )	EE <sub>TA2</sub> = [ P / 15.1 ] <sup>4.0</sup>
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TR1</sub> )	EE <sub>TR1</sub> = [ P / 20.7 ] <sup>3.9</sup>
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TR2</sub> )	EE <sub>TR2</sub> = [ P / 21.8 ] <sup>3.9</sup>
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93

**Fuente:** MTC-2014

En la Tabla N° 82, podemos observar la relación por tipo de eje para determinar los ejes equivalentes, en base a la guía ASSHTO.

Una vez calculado el f.IMDA de cada tipo de vehículo mostrado en la tabla 6, haremos la sumatoria de f.IMDA y luego calcularemos el número de repeticiones de ejes equivalentes con la siguiente formula:

$$ESAL = (\sum f.IMDA) * 365 * FD * FC * \left( \frac{(1 + r)^n}{r} - 1 \right)$$

Los valores que se introdujeron a la formula fueron los siguientes:

**Tabla N° 83: Datos para el cálculo del ESAL**

<b>∑f. IMDA</b>	5.292	Sumatoria f.IMDA
<b>FD</b>	0.5	Tabla 80
<b>FC</b>	1	Tabla 80
<b>r</b>	5.70 por ciento	Tabla 77, Crecimiento max.

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Tabla N° 83, detallamos todos los valores utilizados en la fórmula para el cálculo del ESAL, como la sumatoria del factor del IMDA, el FD, el FC y el R.

Reemplazando en la formula, el valor de número de repeticiones de ejes equivalentes (ESAL) es:

**N REP. EJES EQUIV. = 28 528.15**

#### **4.5. Diseño geométrico**

##### **4.5.1. Clasificación de la carretera por su demanda**

De acuerdo al manual de carreteras de diseño geométrico DG-2018 RD N° 03 – 2018 MTC/14 las carreteras se pueden clasificar por su demanda y orografía. Teniendo en cuenta nuestra demanda proyectada (269 vehículos por día) nuestra vía pertenece a una carretera de tercera clase por tener menos de 400 veh/día. Así también establece que el ancho mínimo para los carriles será de 3m.

##### **101.05 Carreteras de Tercera Clase**

Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3.00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2.50 m, contando con el sustento técnico correspondiente.

Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.

**Imagen N° 6: Concepto de carretera de tercera clase**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

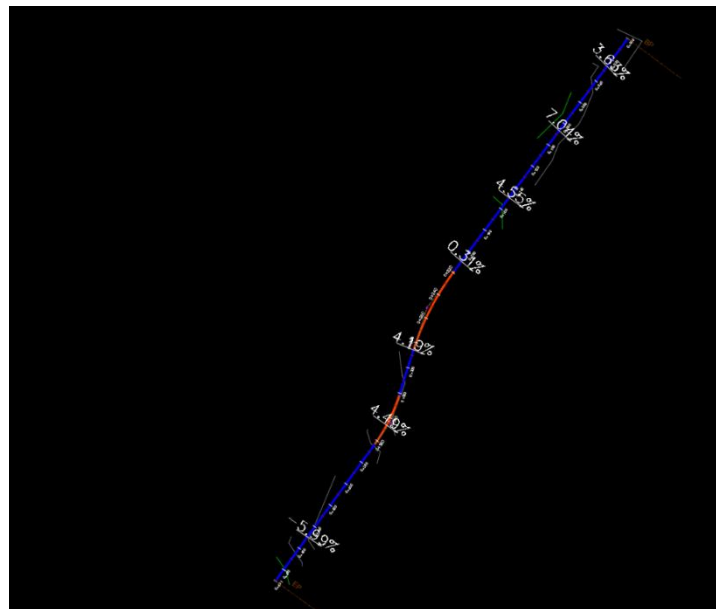
La Imagen N° 6, nos detalla puntualmente lo que son las carreteras de tercera clase; el número de calzadas con el que debe de contar, el tipo de soluciones con las que pueden funcionar y las excepcionalidades de las mismas.

#### 4.5.2. Clasificación de la carretera por su orografía

Para clasificar a la carretera por su orografía, se debe tener en cuenta las pendientes transversales y longitudinales de la vía.

Como se puede ver en la Figura N° 16, las pendientes transversales al eje de la vía son menores a 10 por ciento.

Con la pendiente transversal menor a 10 por ciento, el tipo de terreno según la imagen N°7 sería terreno plano. Pero aun habría que revisar la pendiente longitudinal de la vía

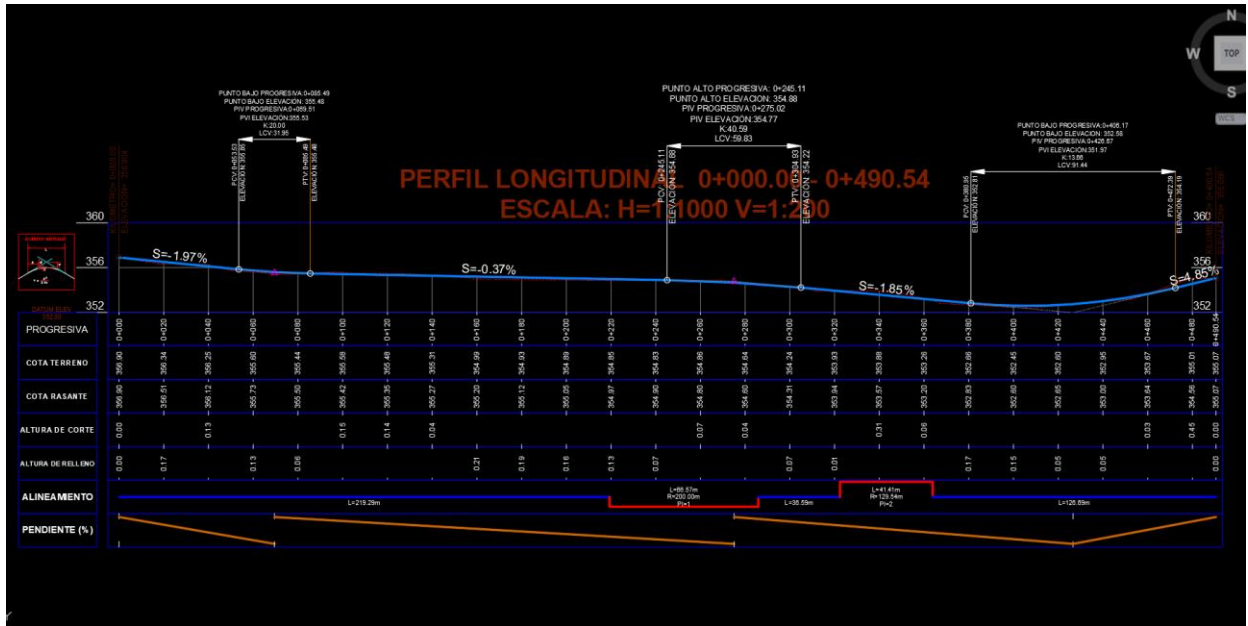


**Figura N° 16: pendientes transversales de la vía**

**Fuente:** Elaborado por los autores.



Como se puede ver en la Figura N° 17, las pendientes longitudinales de la vía oscilan entre 3 por ciento y 6 por ciento. Con estos valores, finalmente, el tipo de terreno del proyecto es ondulado. (tipo 2)



**Figura N° 17: pendientes longitudinales de la vía**  
 Fuente: Elaborado por los autores.

#### **102.01 Terreno plano (tipo 1)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía, menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menores de tres por ciento (3%), demandando un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazo.

#### **102.02 Terreno ondulado (tipo 2)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6 %, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos rectos, alternados con curvas de radios amplios, sin mayores dificultades en el trazo.

#### **102.03 Terreno accidentado (tipo 3)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%, por lo que requiere importantes movimientos de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazo.

#### **102.04 Terreno escarpado (tipo 4)**

Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazo.

### **Imagen N° 7 : Tipo de carretera según su orografía.**

**Fuente:** MTC-2014.

La imagen N°7 muestra los tipos de terreno que se pueden presentar en una vía y las clasifica de acuerdo a sus pendientes longitudinales y transversales.

#### **4.5.3. Velocidad de diseño**

Según el manual de carreteras de diseño geométrico la longitud mínima de un tramo debe ser de 3 kilómetros si su velocidad de diseño se encuentra entre los 20 km/h y 50 km/h. Si las velocidades van entre 60 km/h y 120 km/h la longitud mínima del tramo será de 4 kilómetros. También establece que la diferencia de velocidades entre 2 tramos consecutivos no debe exceder los 20 km/h.

La velocidad de diseño se puede calcular con la clasificación por demanda y orografía de la vía.

Según la Tabla N° 84 y teniendo en cuenta nuestra clasificación de carretera por demanda y orografía las velocidades de diseño para el proyecto pueden estar comprendidas entre 40 y 90 km/h.

**Tabla N° 84: Rangos de la velocidad de diseño según clasificación de demanda y orografía de la vía. fuente: manual de diseño geométrico de carreteras**

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h)										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
<b>Autopista de primera clase</b>	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
<b>Autopista de segunda clase</b>	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
<b>Carretera de primera clase</b>	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
<b>Carretera de segunda clase</b>	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
<b>Carretera de tercera clase</b>	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											

**Fuente:** Manual de diseño geométrico de carreteras

Debido a que la vía está ubicada en una zona urbana y el material de la capa de rodadura será afirmado optaremos por una velocidad de diseño de 40 km/h.

A su vez, teniendo la velocidad de diseño podemos calcular la velocidad de operación con la siguiente tabla:

**Tabla N° 85: Velocidad de marcha teórica.**

Velocidad de diseño	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0
Velocidad media de marcha	27.0	36.0	45.0	54.0	63.0	72.0	81.0	90.0	99.0	108.0	117.0
Rangos de velocidad media	25.5 @ 28.5	34.0 @ 38.0	42.5 @ 47.5	51.0 @ 57.0	59.5 @ 66.5	68.0 @ 76.0	76.5 @ 85.5	85.0 @ 95.0	93.5 @ 104.5	102.0 @ 114.0	110.5 @ 123.5

**Fuente:** manual de diseño geométrico de carreteras

La Tabla N° 85, nos muestra que con una velocidad de diseño de 40 km/h, obtenemos una velocidad media de marcha de 36 km/h y un rango de velocidad media comprendida entre 34 y 38 km/h.

#### **4.5.4. Pendientes máximas**

La pendiente máxima en el lineamiento vertical está relacionada con la velocidad, tipo de vía y su orografía. La pendiente máxima para nuestro proyecto será 9 por ciento, tal y como se especifica en la Tabla N° 86 que a continuación presentamos:

**Tabla N° 86: Pendientes máximas.**

Demanda	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera			
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400			
Características	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño: 30 km/h																				
40 km/h															9.00	8.00	9.00	8.00	0.00	10.00
50 km/h											7.00	7.00			8.00	9.00	8.00	8.00	8.00	
60 km/h					6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	7.00	8.00	9.00	8.00	8.00		
70 km/h			5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00		7.00	7.00		
80 km/h	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00		6.00	6.00			7.00	7.00		
90 km/h	4.50	4.50	5.00		5.00	5.00	6.00		5.00	5.00			6.00				6.00	6.00		
100 km/h	4.50	4.50	4.50		5.00	5.00	6.00		5.00				6.00							
110 km/h	4.00	4.00			4.00															
120 km/h	4.00	4.00			4.00															
130 km/h	3.50																			

**Fuente:** Manual de diseño geométrico de carreteras.

La tabla N°86 establece las pendientes máximas para la vía teniendo en cuenta la velocidad de diseño, la cantidad de vehículos por día (IMDa) y el tipo de orografía.

#### 4.5.5. Superficie de rodadura

Nuestra superficie de rodadura será de afirmado; conformada por una capa adecuadamente compactada con material de cantera. Esto por tema económico – estructural; ya que se obtendrá un soporte de suelo igual al de un pavimento, pero con un presupuesto inferior a este último.

Se colocará un supresor de polvo con el fin de evitar la producción de polvo y pérdida de material fino de la superficie de rodadura. El distrito Lurigancho – Chosica tiene un clima árido y las precipitaciones son nulas en la mayoría de los meses del año. Por ende, se trabajará con Cloruro de magnesio como agente mitigante de polvo; además, éste supresor genera un incremento de la presión superficial generando una superficie más dura que la de cloruro de calcio y cloruro de sodio.

#### 4.5.6. Bombeo

El porcentaje de bombeo, el cual tiene la finalidad de evacuar las aguas superficiales hacia los costados de la vía, está definido de acuerdo al tipo de superficie. La siguiente tabla muestra los valores que se pueden adoptar según el tipo de superficie adoptado para la vía.

**Tabla N° 87: Valores de bombeo de la calzada**

Tipo de Superficie	Bombeo (%)	
	Precipitación <500 mm/año	Precipitación >500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o concreto Portland	2.0	2.5
Tratamiento superficial	2.5	2.5-3.0
Afirmado	3.0-3.5	3.0-4.0

**Fuente:** Manual de diseño geométrico de carreteras.

La Tabla N° 87 establece el porcentaje de bombeo a aplicar en la superficie teniendo en cuenta la precipitación anual en el área del proyecto.

Según la Tabla 87, ya que la vía será de afirmado y la precipitación es menor a 500 mm por año, el porcentaje de bombeo a usar será el promedio del rango que establece el manual; es decir, 3.25 por ciento.

#### 4.5.7. Espesor de afirmado

Para obtener el espesor de la capa de afirmado usaremos el método NAASRA, el cual tiene la siguiente fórmula para calcular dicho espesor:

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} (\text{Nrep}/120)$$

Donde:

e = espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = valor del CBR de la sub rasante.

Nrep = número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

Ya que el terreno natural del proyecto tiene un CBR menor a 6 por ciento, se realizó ensayos de estabilización de suelo con cloruro de magnesio y cloruro de calcio a distintos porcentajes. Se realizaron ensayos para las 2 calicatas con similares resultados de CBR para ambas calicatas. Los CBR a utilizar para calcular el espesor de afirmado serán los valores más desfavorables que se obtuvo comparando las 2 calicatas, en este caso la calicata 2 (C2).

El número de repeticiones de ejes equivalentes ya fue calculado y su valor es 28 529.

En la Tabla N° 88, obtenemos el espesor del afirmado para cada suelo con estabilizante, reemplazando en la fórmula los valores de CBR y número de repeticiones de ejes equivalentes, como se muestra a continuación:

**Tabla N° 88: Espesores de afirmado por tipo de estabilización**

C2	CBR %	ESAL	ESPESOR AFIRMADO (mm)
SUELO + 1% DE CALCIO	11.90	28529.00	140.56
SUELO + 1.5% DE CALCIO	12.70	28529.00	134.88
SUELO + 2% DE CALCIO	16.00	28529.00	116.49
SUELO + 3% DE MAGNESIO	11.20	28529.00	146.05
SUELO + 4% DE MAGNESIO	13.40	28529.00	130.36
SUELO + 5% DE MAGNESIO	15.30	28529.00	119.83

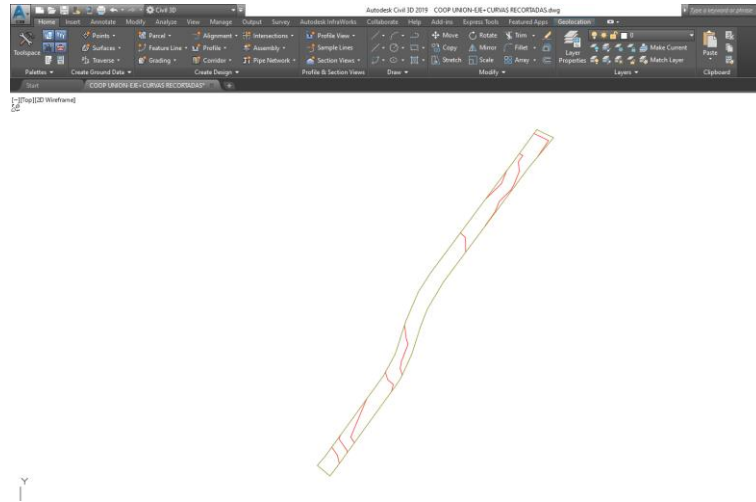
**Fuente:** Elaborado por los autores.

Respecto a los valores obtenidos, el manual de carreteras establece que el valor mínimo del espesor de la capa de afirmado es de 150mm, por cual el valor del espesor de afirmado será de:

**Espesor Afirmado = 15 cm.**

#### 4.5.8. Procesamiento de información en AUTOCAD CIVIL 3D

El proceso en el Software civil 3D consta de importar los puntos topográficos y con ellos generar las curvas de nivel del lugar del proyecto.

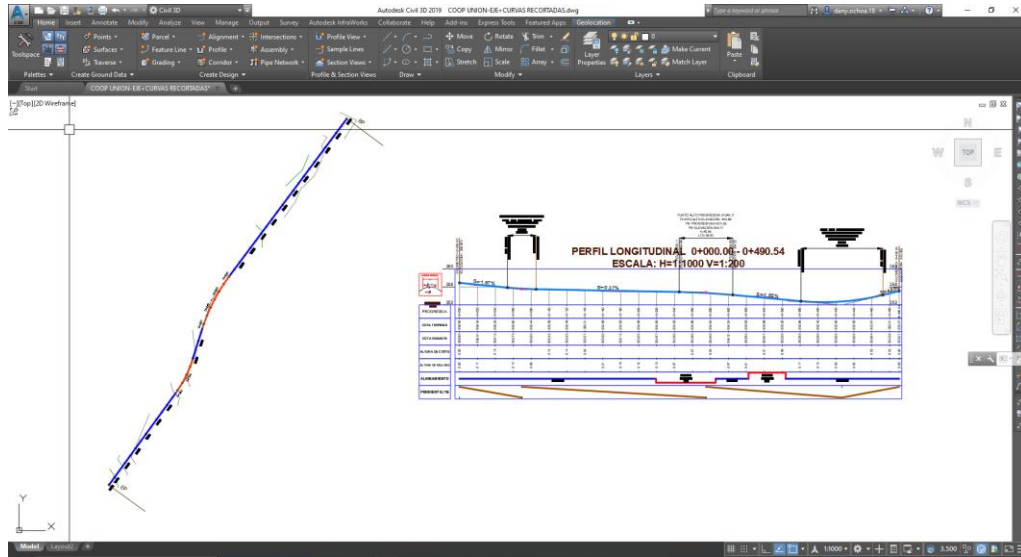


**Figura N° 18: Curvas de nivel.**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

Con las curvas de nivel se traza el eje de la carretera, se saca el perfil longitudinal y trazamos la rasante del terreno cuidando criterios de corte y relleno, además de tener en cuenta todos los lineamientos del manual de carretera; tal y como se muestra en la Figura N° 18.

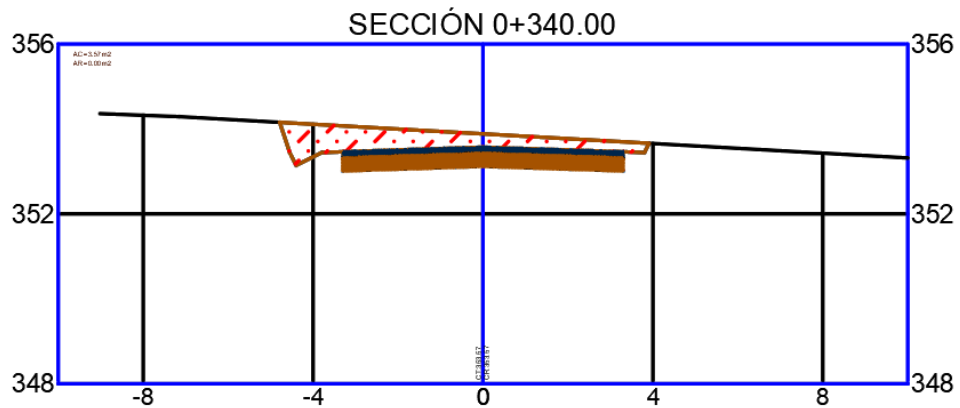




**Figura N° 19: Eje de alineamiento y perfil longitudinal**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

Posteriormente, como se puede observar en la Figura N° 19, se crea un corredor donde se insertan todos los datos de la carretera (ancho de vía, bombeo, espesor de la carpeta de rodadura), para así obtener las secciones



transversales.

**Figura N° 20: Sección transversal km 00+340**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

Finalmente, se pueden extraer las secciones de corte, relleno y de cantidad de material a usar, como podemos observar en la Figura N° 20.

Posteriormente se puede extraer las tablas de metrado de corte y relleno, y de cantidad de material a usar.

#### 4.6. Presupuesto y análisis de precios unitarios.

##### 4.6.1. Análisis de precios unitarios.

Se presenta a continuación los análisis de precios unitarios para la ejecución del camino de afirmado, y con fin de comparación se muestran los A.P.U y de un pavimento flexible.

Metrado:		EXCAVACIÓN Y CORTE							
Partida N°						Rendim:	300.0000	m3/día	
Unidad	m3		EQUIPO:	1 tractor sobre orugas		Cuadrilla:	0.1 cap + 1 op + 4 pe		
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total	
<b>Materiales</b>									
							Costos Materiales S/.	0.00	
<b>Mano de Obra</b>									
Capataz	HH	0.0027	1.00	100.00%	0.0027	23.05	0.06		
Operario	HH	0.0267	1.00	100.00%	0.0267	20.95	0.56		
Peón	HH	0.1067	1.00	100.00%	0.1067	15.15	1.62		
							Costos Mano de Obra S/.	2.24	
<b>Equipos y Herramientas</b>									
Herramientas Manuales (5%)	%MO	0.0500				2.2400	0.11		
Tractor sobre Orugas 105 - 135 HP	HM	0.0267	1.00	100.00%	0.0267	281.1405	7.5000		
							Costo Equipo y Herramientas	7.61	
							<b>Total</b>	<b>9.85</b>	

**Figura N° 21: A.P.U. Excavación y corte**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

Como se muestra en la Figura N° 21, el costo por excavación y corte es de S/ 9.85, con un costo por mano de obra de S/ 2.24 y por equipos y herramientas de S/ 7.61.

Metrado:	Relleno con material propio									
Partida N°						Rendim:	400.0000	m3/día		
Unidad	m3		EQUIPO:	1motoniveladora+1 rodilla+1cisterna		Cuadrilla:	0.1 cap + 1 pe			
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total		
<b>Materiales</b>										
									Costos Materiales S/.	0.00
<b>Mano de Obra</b>										
Capataz	HH	0.0020	1.00	100.00%	0.0020	23.05	0.05			
Peón	HH	0.0200	1.00	100.00%	0.0200	15.15	0.30			
									Costos Mano de Obra S/.	0.35
<b>Equipos y Herramientas</b>										
Herramientas Manuales (5%)	%MO	0.0500				0.35	0.02			
1motoniveladora 125 HP	HM	0.0200	1.00	100.00%	0.0200	133.1585	2.6600			
1 RODILLO VIBRATORIO LISO AUTOPROPULSADO 12 Ton	HM	0.0200	1.00	100.00%	0.0200	184.667	3.6900			
1 camión cisterna 4x2, agua, 122 HP, 1500 Gln	HM	0.0200	1.00	100.00%	0.0200	172.04	3.4400			
									Costo Equipo y Herramientas	9.81
									<b>Total</b>	<b>10.16</b>

### Figura N° 22: A.P.U. Relleno con material propio

Fuente: Elaborado por los autores.

La Figura N° 22, muestra que el costo del relleno con material propio es de S/ 10.16, con el costo por mano de obra y por equipos y herramientas detallados en la figura en mención.

Metrado:	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DP= 10 Km									
Partida N°						Rendim:	400.0000			
Unidad	m3		EQUIPO:	4 volquetes+1cargador		Cuadrilla:	0.1 cap + 1 of + 4 pe			
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total		
<b>Materiales</b>										
									Costos Materiales S/.	0.00
<b>Mano de Obra</b>										
Capataz	HH	0.00200	1.00	100.00%	0.00200	23.05	0.05			
Oficial	HH	0.02000	1.00	100.00%	0.02000	16.8	0.34			
Peón	HH	0.08000	1.00	100.00%	0.08000	15.15	1.21			
									Costos Mano de Obra S/.	1.60
<b>Equipos y Herramientas</b>										
Herramientas Manuales (5%)	%MO	0.05000				1.60	0.08			
CAMION VOLQUETE 6x4 450 HP 12 M3.	HM	0.08000	1.00	1.00	0.08	256.17	20.49			
CARGADOR FRONTAL 160-185 HP 3 YD3	HM	0.02000	1.00	1.00	0.02	234.75	4.69			
									Costo Equipo y Herramientas S/.	25.26
									<b>Total S/.</b>	<b>26.86</b>

### Figura N° 23: A.P.U. Eliminación de material excedente

Fuente: Elaborado por los autores.

Según la Figura N° 23, el costo por eliminación de material excedente asciende a la suma de S/ 26.86.

Metrado:	PREPARACION DE CLORURO DE MAGNESIO (3%)								
Partida N°						Rendim:	45.0000		
Unidad	m3		EQUIPO	camión+rodillo+motoniv		Cuadrilla:	2 pe		
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total	
<b>Materiales</b>									
Cloruro de magnesio	tn	0.045	1.00	100%	0.04500	899	40.46		
GASOLINA	gal	0.0150	1.00	100.00%	0.01500	18.62	0.28		
								Costos Materiales S/.	40.74
<b>Mano de Obra</b>									
Peón	HH	0.35556	1.00	100.00%	0.35556	15.15	5.39		
								Costos Mano de Obra S/.	5.39
<b>Equipos y Herramientas</b>									
PISCINAS DE PREPARACION 7 M3	HM	0.17778	1.00	100.00%	0.17778	5.44	0.97		
RETROEXCAVADORA	HM	0.17778	1.00	100.00%	0.17778	145.00	25.78		
								Costo Equipo y Herramientas S/.	26.75
								Total S/.	72.88

**Figura N° 24: A.P.U. Sub partida Preparación de cloruro de magnesio**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

El costo para la Sub partida de preparación de cloruro de magnesio es de S/ 72.88, tal y como se muestra en la Figura N° 24.

Metrado:	PREPARACION DE CLORURO DE CALCIO (1%)								
Partida N°						Rendim:	45.0000		
Unidad	m3		EQUIPO	Retroexcavadora		Cuadrilla:	2 pe		
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total	
<b>Materiales</b>									
Cloruro de Calcio	tn	0.015	1.00	100%	0.01500	595.95	8.94		
GASOLINA	gal	0.0150	1.00	100.00%	0.01500	18.62	0.28		
								Costos Materiales S/.	8.94
<b>Mano de Obra</b>									
Peón	HH	0.35556	1.00	100.00%	0.35556	15.15	5.39		
								Costos Mano de Obra S/.	5.39
<b>Equipos y Herramientas</b>									
PISCINAS DE PREPARACION 7 M3	HM	0.17778	1.00	100.00%	0.17778	5.44	0.97		
RETROEXCAVADORA	HM	0.17778	1.00	100.00%	0.17778	145.00	25.78		
								Costo Equipo y Herramientas S/.	26.75
								Total S/.	41.08

**Figura N° 25: A.P.U. Sub partida Preparación de cloruro de Calcio**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

Para la Sub partida de preparación de cloruro de calcio se obtuvo un costo de S/ 41.08, como se observa en la Figura N° 25.

Metrado:		PERFILADO Y COMPACTACION DE SUBRASANTE- MAGNESIO (3%)							
Partida N°						Rendim:	700.0000		
Unidad	m2		EQUIPO	rodillo+motoniv		Cuadrilla:	0.1 cap+ 4 pe		
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total	
<b>Materiales</b>									
AGUA	m3	0.05000	1.00	100.00%	0.0500	4.87	0.24		
							Costos Materiales S/.	0.24	
<b>Mano de Obra</b>									
Capataz	HH	0.00114	1.00	100.00%	0.00114	23.05	0.03		
Peón	HH	0.04571	1.00	100.00%	0.04571	15.15	0.69		
							Costos Mano de Obra S/.	0.69	
<b>Equipos y Herramientas</b>									
Herramientas Manuales (5%)	%MO	0.05000				0.69	0.03		
RODILLO LISO VIBR AUTOP 10-135 HP 10-12T	HM	0.01143	1.00	100.00%	0.01143	177.32	2.03		
MOTONIVELADORA DE 12 HP	HM	0.01143	1.00	100.00%	0.01143	190.70	2.18		
CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 178-210- HP 2,000 g	HM	0.01143	1.00	100.00%	0.0114	182.79	2.09		
							Costo Equipo y Herramientas S/.	0.69	
<b>Subpartidas</b>									
Preparación del cloruro d magnesio	m3	0.15000	1.00	100.00%	0.1500	72.88	10.93		
							Costo sub partida S/.	10.93	
							<b>Total S/.</b>	<b>12.55</b>	

**Figura N° 26: A.P.U. Perfilado y compactación de subrasante – calcio (1 por ciento)**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la figura N° 26, se observa que el costo por perfilado y compactación de subrasantes con el 1 por ciento de calcio es de S/ 7.78.

Metrado:		PERFILADO Y COMPACTACION DE SUBRASANTE CALCIO (1%)							
Partida N°						Rendim:	700.0000		
Unidad	m2		EQUIPO	rodillo+motoniv		Cuadrilla:	0.1 cap+ 4 pe		
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total	
<b>Materiales</b>									
AGUA	m3	0.05000	1.00	100.00%	0.0500	4.87	0.24		
							Costos Materiales S/.	0.24	
<b>Mano de Obra</b>									
Capataz	HH	0.00114	1.00	100.00%	0.00114	23.05	0.03		
Peón	HH	0.04571	1.00	100.00%	0.04571	15.15	0.69		
							Costos Mano de Obra S/.	0.69	
<b>Equipos y Herramientas</b>									
Herramientas Manuales (5%)	%MO	0.05000				0.69	0.03		
RODILLO LISO VIBR AUTOP 10-135 HP 10-12T	HM	0.01143	1.00	100.00%	0.01143	177.32	2.03		
MOTONIVELADORA DE 12 HP	HM	0.01143	1.00	100.00%	0.01143	190.70	2.18		
CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 178-210- HP 2,000 g	HM	0.01143	1.00	100.00%	0.0114	182.79	2.09		
							Costo Equipo y Herramientas S/.	0.69	
<b>Subpartidas</b>									
Preparación del cloruro d magnesio	m3	0.15000	1.00	100.00%	0.1500	41.08	6.16		
							Costo sub partida S/.	6.16	
							<b>Total S/.</b>	<b>7.78</b>	

**Figura N° 27: A.P.U. Perfilado y compactación de subrasante– magnesio 3 por ciento Fuente: Elaborado por los autores.**

En la figura N° 27, observamos que el costo por perfilado y compactación de subrasantes con el 3 por ciento de magnesio es de S/ 12.55.

Metrado:		SALMUERA PARA COMPACTACION							
Partida N°						Rendim:	28.8400		
Unidad	m3		EQUIPO	camión+rodillo+motoniv		Cuadrilla:	1 pe		
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total	
<b>Materiales</b>									
GASOLINA	gal	0.0150	1.00	100.00%	0.01500	18.62	0.28		
Costos Materiales S/.								0.28	
<b>Mano de Obra</b>									
Peón	HH	0.27739	1.00	100.00%	0.27739	15.15	4.20		
Costos Mano de Obra S/.								4.20	
<b>Equipos y Herramientas</b>									
CISTERNA DE 3000 GAL	HM	0.27739	1.00	100.00%	0.27739	190.39	52.81		
MOTOBOMBAS DE 4 "	UND	0.27739	1.00	100.00%	0.27739	8.73	2.42		
Costo Equipo y Herramientas								55.23	
<b>Total</b>								<b>59.71</b>	

**Figura N° 28: A.P.U. Subpartida Salmuera para compactación**

Fuente: Elaborado por los autores.

La Subpartida de salmuera para compactación tiene un costo de S/ 59.71, tal y como se muestra en la Figura N° 28.

Metrado:		CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE E=0.15M							
Partida N°						Rendim:	1,050.0000		
Unidad	m2		EQUIPO	camión+rodillo+motoniv		Cuadrilla:	0.1 cap + 4 pe		
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total	
<b>Materiales</b>									
AGUA	m3	0.05000	1.00	100.00%	0.0500	4.87	0.24		
AFIRMADO TIPO A-1	m3	0.1950	1.00	100.00%	0.1950	38.14	7.44		
Costos Materiales S/.								7.68	
<b>Mano de Obra</b>									
Capataz	HH	0.00076	1.00	100.00%	0.00076	23.05	0.02		
Peón	HH	0.03048	1.00	100.00%	0.03048	15.15	0.46		
Costos Mano de Obra S/.								0.48	
<b>Equipos y Herramientas</b>									
Herramientas Manuales (5%)	%MO	0.05000				0.48	0.02		
CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 122- HP 2,000	HM	0.00762	1.00	100.00%	0.00762	158.53	1.21		
RODILLO LISO VIBR AUTOP 101-135 HP 10-12T	HM	0.00762	1.00	100.00%	0.00762	177.32	1.35		
MOTONIVELADORA DE 12 HP	HM	0.00762	1.00	100.00%	0.00762	190.70	1.45		
Costo Equipo y Herramientas S/.								4.03	
<b>Total S/.</b>								<b>12.19</b>	

**Figura N° 29: A.P.U. Conformación y compactación de subrasante e=0.15m**

Fuente: Elaborado por los autores.

La conformación y compactación de subrasante tiene un costo de S/ 12.19; entre equipos y herramientas, materiales y mano de obra; detallada en la Figura N° 29.

Metrado:		PREPARACION DE SALMUERA - SUPRESOR DE POLVO							
Partida N°						Rendim:	36.8400		
Unidad	m3		EQUIPO	camión+rodillo+motoniv		Cuadrilla:	1 ofi		
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total	
<b>Materiales</b>									
Cloruro de magnesio	tn	0.0032	1.00	100%	0.00320	899	2.88		
GASOLINA	gal	0.0150	1.00	100.00%	0.01500	18.62	0.28		
Agua	m3	0.00400	1.00	100.00%	0.0040	4.87	0.02		
							Costos Materiales S/.	3.16	
<b>Mano de Obra</b>									
oficial	HH	0.21716	1.00	100.00%	0.21716	16.8	3.65		
							Costos Mano de Obra S/.	3.65	
<b>Equipos y Herramientas</b>									
CISTERNA 3000 gal	HM	0.21716	1.00	100.00%	0.21716	158.53	34.43		
MOTOBOMBA DE 4"	HM	0.21716	1.00	100.00%	0.21716	6.92	1.50		
							Costo Equipo y Herramientas S/.	35.93	
							<b>Total S/.</b>	<b>42.74</b>	

**Figura N° 30: A.P.U. Preparación de salmuera - supresor de polvo**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 30, se determina que el costo para la preparación de salmuera con supresor de polvo es de S/ 42.74.

Metrado:		REGADO Y COMPACTACION DE SALMUERA							
Partida N°						Rendim:	4,800.0000		
Unidad	m2		EQUIPO	camión+rodillo+motoniv		Cuadrilla:	4 pe		
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total	
<b>Materiales</b>									
							Costos Materiales S/.	0.00	
<b>Mano de Obra</b>									
Peón	HH	0.00667	1.00	100.00%	0.00667	15.15	0.10		
							Costos Mano de Obra S/.	0.10	
<b>Equipos y Herramientas</b>									
CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 122- HP 2,000	HM	0.00167	1.00	100.00%	0.00167	158.53	0.26		
RODILLO LISO VIBR AUTOP 101-135 HP 10-12T	HM	0.00167	1.00	100.00%	0.00167	177.32	0.30		
							Costo Equipo y Herramientas S/.	0.56	
<b>Sub partidas</b>									
Preparación de salmuera	HM	0.15000	1.00	100.00%	0.15000	42.74	6.41		
							Costo Equipo y Herramientas S/.	6.41	
							<b>Total S/.</b>	<b>7.07</b>	

**Figura N° 31: A.P.U. Regado y compactación de salmuera**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

El costo por regado y compactación de salmuera es de S/ 7.07, según indica la Figura N° 31.

Metrado:		SUBBASE GRANULAR C/EQUIPO E= 0.20 M						
Partida N°						Rendim:	900.0000	MO y Equipo
Unidad	m2		EQUIPO	camion + rodillo+motoniv.		Cuadrilla:	0.1 cap + 1 of + 5 pe	
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total
<b>Materiales</b>								
AGUA	M3	0.09000	1.00	100.00%	0.09	4.87	0.44	
AFIRMADO PARA SUBBASE TIPO A-1	m3	0.26000	1.00	100.00%	0.26	38.14	9.92	
							Costos Materiales S/.	10.36
<b>Mano de Obra</b>								
Capataz	HH	0.00089	1.00	100.00%	0.0009	23.05	0.02	
Operario	HH	0.00889	1.00	100.00%	0.0089	20.95	0.19	
Peón	HH	0.00444	1.00	100.00%	0.0044	15.15	0.07	
							Costos Mano de Obra S/.	0.28
<b>Equipos y Herramientas</b>								
Herramientas Manuales (5%)	%MO	0.0500				0.28	0.01	
CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 178-210- HP 2,000 gln.	HM	0.0089	1.00	100.00%	0.0089	182.79	1.62	
RODILLO LISO VIBR AUTOP 106-170 HP 10-12T	HM	0.0089	1.00	100.00%	0.0089	223.01	1.98	
MOTONIVELADORA DE 130-135 HP	HM	0.0089	1.00	100.00%	0.0089	205.24	1.82	
							Costo Equipo y Herramientas	5.43
							Total	16.07

**Figura N° 32: A.P.U. Subbase granular c/equipo e= 0.20 m**

Fuente: Elaborado por los autores.

Como se observa en la Figura N° 32, la subbase granular con equipo e=0.20m tiene un costo de S/ 16.07.

Metrado:		BASE GRANULAR C/EQUIPO E= 0.25M						
Partida N°						Rendim:	750.0000	MO y Equipo
Unidad	m2		EQUIPO	camion + rodillo+motoniv.		Cuadrilla:	0.1 cap + 1 of + 5 pe	
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total
<b>Materiales</b>								
AGUA	M3	0.09000	1.00	100.00%	0.09	4.87	0.44	
AFIRMADO PARA BASE TIPO A-1	m3	0.32500	1.00	100.00%	0.33	38.14	12.39	
							Costos Materiales S/.	12.83
<b>Mano de Obra</b>								
Capataz	HH	0.00107	1.00	100.00%	0.0011	23.05	0.02	
Operario	HH	0.01067	1.00	100.00%	0.0107	20.95	0.22	
Peón	HH	0.05333	1.00	100.00%	0.0533	15.15	0.81	
							Costos Mano de Obra S/.	1.05
<b>Equipos y Herramientas</b>								
Herramientas Manuales (5%)	%MO	0.05000				1.0500	0.05	
CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 178-210- HP 2,000 gln.	HM	0.01067	1.00	100.00%	0.0107	182.79	1.95	
RODILLO LISO VIBR AUTOP 106-170 HP 10-12T	HM	0.01067	1.00	100.00%	0.0107	223.01	2.38	
MOTONIVELADORA DE 130-135 HP	HM	0.01067	1.00	100.00%	0.0107	205.24	2.19	
							Costo Equipo y Herramientas	6.57
							Total	20.45

**Figura N° 33: A.P.U. Base granular c/equipo e= 0.25 m**

Fuente: Elaborado por los autores.



La base granular con equipo e=0.25m, tiene un costo de S/ 20.45, como se observa en la Figura N° 33.

Metrado:		IMPRIMACION ASFALTICA (BACHEO ASFALTO)						
Partida N°						Rendim:	4,000.0000	
Unidad	m2	EQUIPO:	Barredora+Camión imprimador			Cuadrilla:	1 cap + 1 op + 1 of + 2 pe	
Descripcion	Und	Cantidad	Metrado	% Avance	Total Insumo	P. Unit	Parcial	Total
<b>Materiales</b>								
ASFALTO RC-250	m3	0.3210	1.00	100.00%	0.3210	9.69	3.11	
KEROSENE INDUSTRIAL	galón	0.0810	1.00	100.00%	0.0810	6.82	0.55	
							Costos Materiales S/.	3.66
<b>Mano de Obra</b>								
Capataz	HH	0.0020	1.0000	100.00%	0.0020	23.05	0.05	
Operario	HH	0.0020	1.0000	100.00%	0.0020	20.95	0.04	
Oficial	HH	0.0020	1.0000	100.00%	0.0020	16.8	0.03	
Peón	HH	0.0040	1.0000	100.00%	0.0040	15.15	0.06	
							Costos Mano de Obra S/.	0.18
<b>Equipos y Herramientas</b>								
Herramientas Manuales (5%)	%MO	0.0500				0.1800	0.01	
BARREDORA MECANICA 10-20 HP	HM	0.0020	1.0000	100.00%	0.0020	172.5000	0.35	
CAMION IMPRIMADOR DE 6X2 178-210 HP	HM	0.0020	1.0000	100.00%	0.0020	172.5000	0.35	
							Costo Equipo y Herramientas	0.71
							<b>Total</b>	<b>4.55</b>

**Figura N° 34: A.P.U. Imprimación asfáltica**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

Finalmente, como se muestra en la Figura N° 34, la imprimación asfáltica tiene un costo de S/ 4.55.

#### 4.6.2. Presupuesto

En la Figura N° 35, se presenta el presupuesto para el cloruro de magnesio como estabilizante, con un total de S/ 51.22, como a continuación se muestra:

PRESUPUESTO-ESTABILIZACION CON MAGNESIO					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	P.U.	Sub-total
	Excavación y Corte	m3	397.00	S/. 9.85	S/. 3,910.45
	Relleno con material propio	m3	170.00	S/. 10.16	S/. 1,727.20
	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DP=10 Km	m3	227.09	S/. 26.86	S/. 6,099.64
	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE	m2	3238.75	S/. 12.55	S/. 40,646.34
	CONFORMACION Y COMPACTACION DE AFIRMADO	m2	3238.75	S/. 12.19	S/. 39,480.39
	REGADO DE SALMUERA	m2	3238.75	S/. 7.07	S/. 22,897.98

Total Costo Directo	S/.		S/. 114,761.99
Gastos Generales	S/.	7.50%	S/. 8,607.15
Utilidad	S/.	15.0%	S/. 17,214.30
Sub-total	S/.		S/. 140,583.44
Total Impuestos	S/.	18.0%	S/. 25,305.02
Total Oferta	S/.		S/. 165,888.45
Precio x m2			S/. 51.22

**Figura N° 35: Presupuesto para el cloruro de magnesio**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 36, se presenta el presupuesto para el cloruro de calcio como estabilizante, el total es de S/ 44.32 por m2, tal y como se observa a continuación:

PRESUPUESTO-ESTABILIZACION CON CALCIO					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	P.U.	Sub-total
	Excavación y Corte	m3	397.00	S/. 9.85	S/. 3,910.45
	Relleno con material propio	m3	170.00	S/. 10.16	S/. 1,727.20
	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DP=10 Km	m3	227.09	S/. 26.86	S/. 6,099.64
	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE	m2	3238.75	S/. 7.78	S/. 25,197.49
	CONFORMACION Y COMPACTACION DE AFIRMADO	m2	3238.75	S/. 12.19	S/. 39,480.39
	REGADO DE SALMUERA	m2	3238.75	S/. 7.07	S/. 22,897.98
Total Costo Directo				S/.	S/. 99,313.14
Gastos Generales				S/.	7.50% S/. 7,448.49
Utilidad				S/.	15.0% S/. 14,896.97
Sub-total				S/.	S/. 121,658.60
Total Impuestos				S/.	18.0% S/. 21,898.55
Total Oferta				S/.	S/. 143,557.15
Precio x m2					S/. 44.32

**Figura N° 36: Presupuesto para el cloruro de calcio**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

La Figura N° 37, presenta el presupuesto de un pavimento flexible, para la comparación de costos. El presupuesto es de S/ 149.33.

PRESUPUESTO PAVIMENTO FLEXIBLE					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	P.U.	Sub-total
	Excavación y Corte	m3	397.00	S/. 9.85	S/. 3,910.45
	Relleno con material propio	m3	170.00	S/. 10.16	S/. 1,727.20
	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DP=10 Km	m3	227.09	S/. 26.86	S/. 6,099.64
	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE	m2	3238.75	S/. 7.78	S/. 25,197.49
	SUBBASE GRANULAR C/EQUIPO E= 0.20M	m2	3,238.75	S/. 16.07	S/. 52,046.74
	BASE GRANULAR C/EQUIPO E= 0.25M	m2	3,238.75	S/. 20.45	S/. 66,232.48
	IMPRIMACION ASFALTICA (BACHEO ASFALTO)	m2	3,238.75	S/. 4.55	S/. 14,736.32
	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE E=3"	m2	3,238.75	S/. 50.83	S/. 164,625.76
Total Costo Directo				S/.	<b>S/. 334,576.09</b>
Gastos Generales				S/. 7.50%	S/. 25,093.21
Utilidad				S/. 15.0%	S/. 50,186.41
Sub-total				S/.	<b>S/. 409,855.71</b>
Total Impuestos				S/. 18.0%	S/. 73,774.03
Total Oferta				S/.	<b>S/. 483,629.73</b>
Precio x m2					<b>S/. 149.33</b>

**Figura N° 37: Presupuesto para el pavimento flexible**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

## CAPÍTULO V

### RESULTADO

#### 5.1. Tipo de suelo

Existen dos sistemas de clasificación de suelos que son el AASHTO Y SUCS. La principal diferencia de los dos sistemas de clasificación es el uso que tiene cada uno de ellos, ya que el sistema AASHTO es esencialmente para la construcción de carreteras mientras que el Unificado son para propósitos de ingeniería; uso general. Para este proyecto se trabajó con el sistema de clasificación AASHTO.

✚ Para clasificar el suelo de la calicata C-1:

- Con el ensayo de granulométrico se obtuvo lo siguiente:

**Tabla N° 89: Descripción de suelos – Granulometría C-1**

<b>ASTM D 2488 “Descripción e identificación de suelos”</b>	
Grava (Retenido N° 4)	0.0%
Arena	35.6%
Fino (Pasa N° 200)	64.4%

**Fuente:** Elaborado por los autores.

La Tabla N° 89, describe e identifica el tipo de suelo para clasificar la calicata 1, el resultado fue de 0 por ciento para grava, 35.6 por ciento para arena y 64.4 por ciento para suelo fino.

- Con el ensayo de límites de Atterberg se obtuvo lo siguiente:

**Tabla N° 90: Resultado de Límites de Atterberg C-1**

LÍMITE LÍQUIDO	26%
LÍMITE PLÁSTICO	17%
ÍNDICE PLÁSTICO	9%

**Fuente:** Elaborado por los autores.

La Tabla N° 90, muestra el resultado de límites de Atterberg en la calicata 1. El índice plástico tuvo un resultado de 9 por ciento.

✚ Para clasificar el suelo de la calicata C-2:

- Con el ensayo de granulométrico se obtuvo lo siguiente:

**Tabla N° 91: Descripción de suelos – Granulometría C-2**

ASTM D 2488 “Descripción e identificación de suelos”	
Grava (Retenido N° 4)	0.0%
Arena	80.2%
Fino (Pasa N° 200)	19.8%

**Fuente:** Elaborado por los autores.

La Tabla N° 91, describe e identifica el tipo de suelo para clasificar la calicata 2, el resultado fue de 0 por ciento para grava, 80.2 por ciento para arena y 19.8 por ciento para suelo fino.

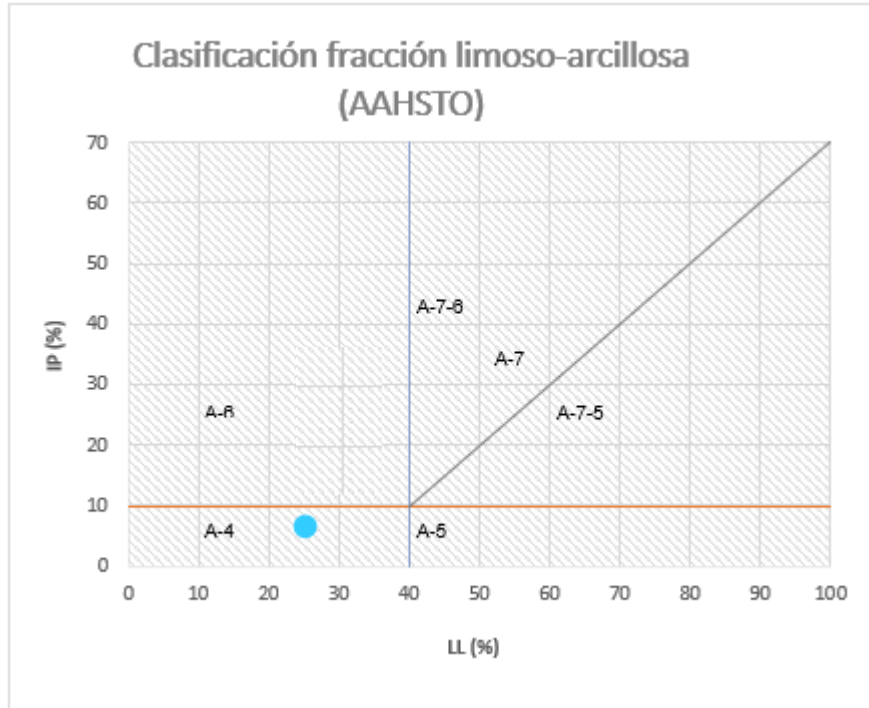
- Con el ensayo de límites de Atterberg se obtuvo lo siguiente:

**Tabla N° 92: Resultado de Límites de Atterberg C-2**

LÍMITE LÍQUIDO	32.00
LÍMITE PLÁSTICO	16.00
ÍNDICE PLÁSTICO	16.00

**Fuente:** Elaborado por los autores.

La Tabla N° 92, muestra el resultado de límites de Atterberg en la calicata 2. El índice plástico tuvo un resultado de 16 por ciento.



**Figura N° 38: Clasificación fracción limoso – arcillosa (AASHTO)**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

Se visualiza la clasificación fracción limoso – arcillosa, según el método AASHTO; en la Figura N°38, donde se presenta una relación de índice de plasticidad y límite líquido con el fin de determinar el tipo de suelo de la muestra.

**Tabla N° 93: Sistema de clasificación AASHTO**

Clasificación general	Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0,08mm							Suelos finos más de 35% pasa po el tamiz de 0.08 mm					
Grupo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		
Simbolo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6	
Analisis granulométrico													
% que pasa por el tamiz													
2 mm	máx.50												
0.5 mm	máx.30	máx.50	máx.50										
0.08 mm	máx.15	máx.25	máx.10	máx.35	máx.35	máx.35	máx.35	mín.35	mín.35	mín.35	mín.35	mín.35	
Limites Atterberg				máx.40	mín.40	máx.40	mín.40	máx.40	máx.40	máx.40		mín.40	mín.40
Límite de liquidez índice de plasticidad	máx.6	máx.6		máx.10	máx.10	mín.10	mín.10	máx.10	máx.10	mín.10	mín.10	mín.10	mín.10
Índice de grupo	0	0	0	0	0	máx.4	máx.4	máx.8	máx.12	máx.16	máx.20	máx.20	
Tipo de material	Piedras, gravas y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcilloso			
Estimación general del suelo como subrasante	De excedente a bueno						De pasable a malo						

**Fuente:** Elaborado por los autores.

De acuerdo a los resultados de los ensayos elaborados, que proporcionan el tipo de suelo, se obtuvo que el suelo extraído en la calicata N° 1 se encuentra en el cuadrante A-4 de la Figura N° 12. Por otro lado, el suelo de la calicata N° 2 pertenece al símbolo A2-6 de suelos granulares ya que tiene un índice de plasticidad de 16 y un límite líquido de 32. Por lo tanto, revisando la clasificación de la muestra, se determina que el suelo en estudio se encuentra entre una arena limos y arcillosa y un suelo fino limoso. Todo lo anterior mencionado, se detalla en la Tabla N°93.

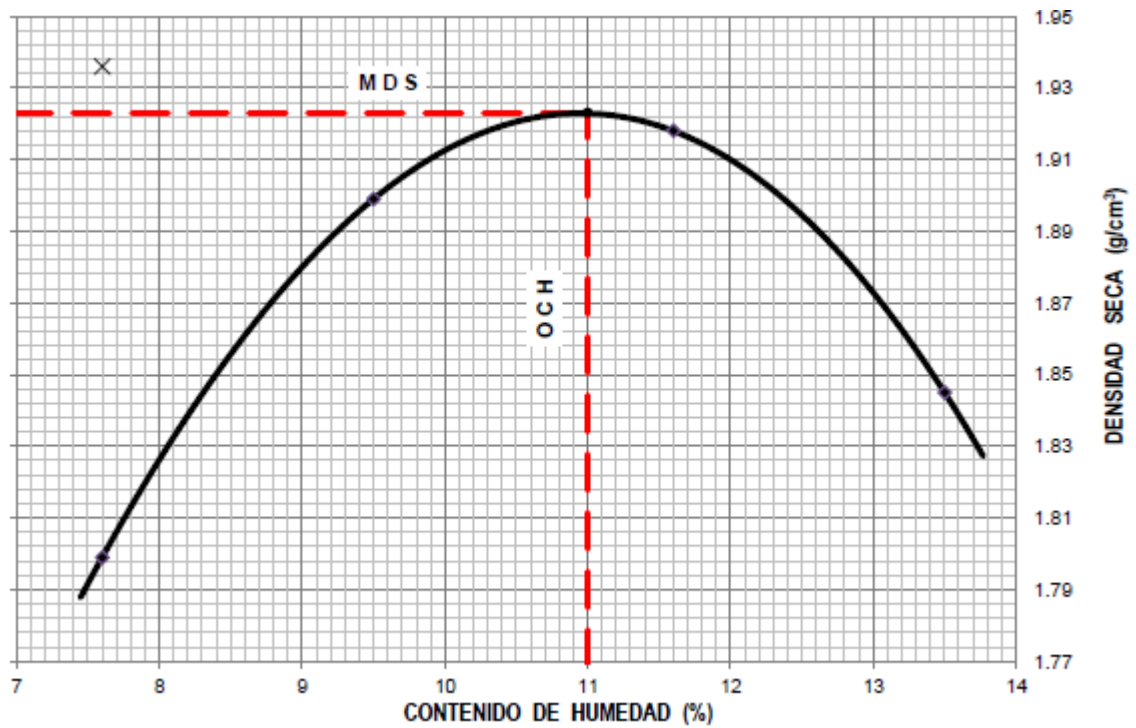
## 5.2. Capacidad portante del suelo

### 5.2.1. Capacidad portante del suelo natural

Para conseguir la capacidad del suelo se debe trabajar los ensayos de Proctor Modificado quien determina la densidad máxima (MDS) y el óptimo contenido de humedad del suelo (OCH). Estos datos ayudaran a adquirir la capacidad portante (en por ciento) del suelo elaborando el ensayo de California Bearing Ratio (CBR).

✚ La capacidad portante del suelo extraído de la calicata N°1:

- Proctor Modificado



RESULTADO	
MÉTODO	A
MDS	1.923
OCH	11.0 %

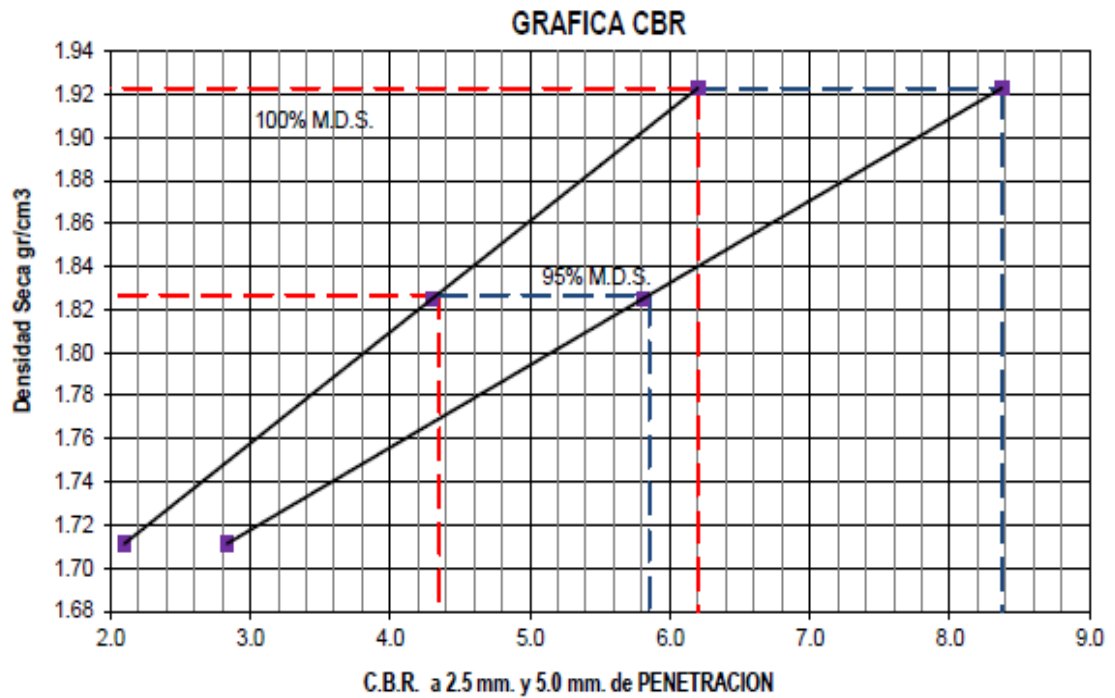
**Figura N° 39: Proctor modificado del suelo natural C-1**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 39, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado en la calicata 1, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 11.0 por ciento y densidad máxima de 1.923 g/cm<sup>3</sup>.



- California Bearing Ratio (CBR).



CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	6.2	8.4
95%	4.4	5.9

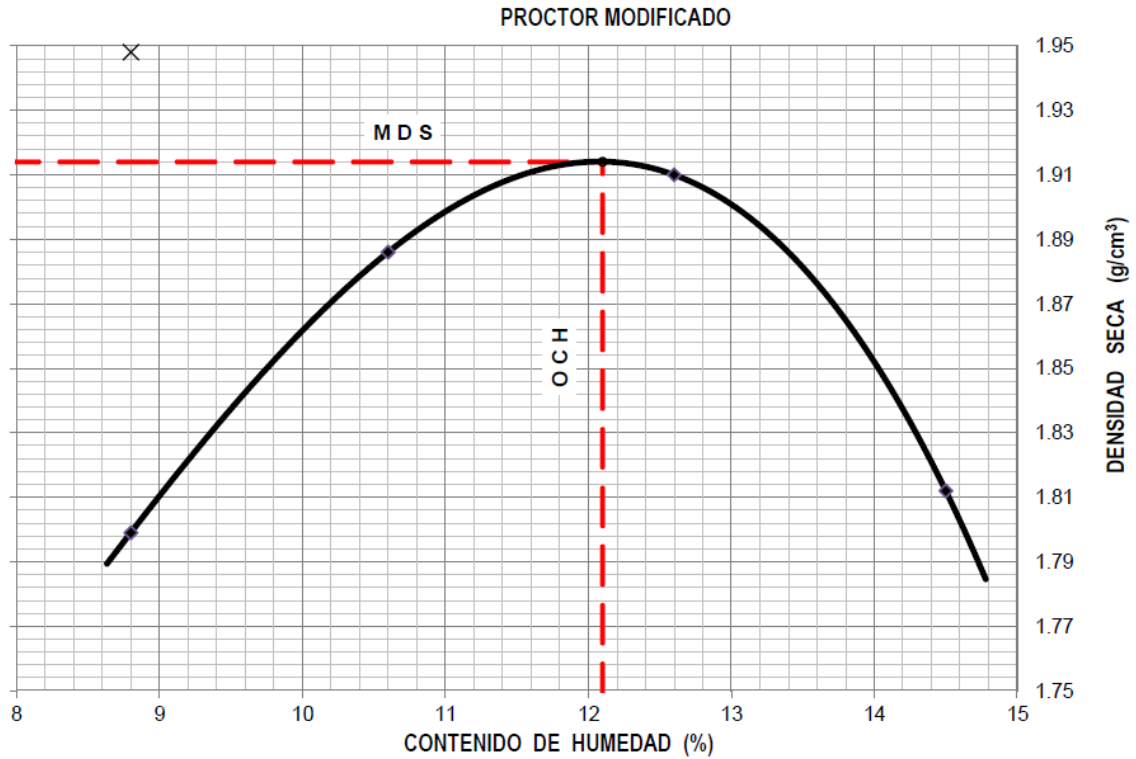
**Figura N° 40: CBR del suelo natural C-1**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 40 se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 4.4 y 5.9 por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

✚ La capacidad portante del suelo extraído de la calicata N°2:

- Proctor Modificado



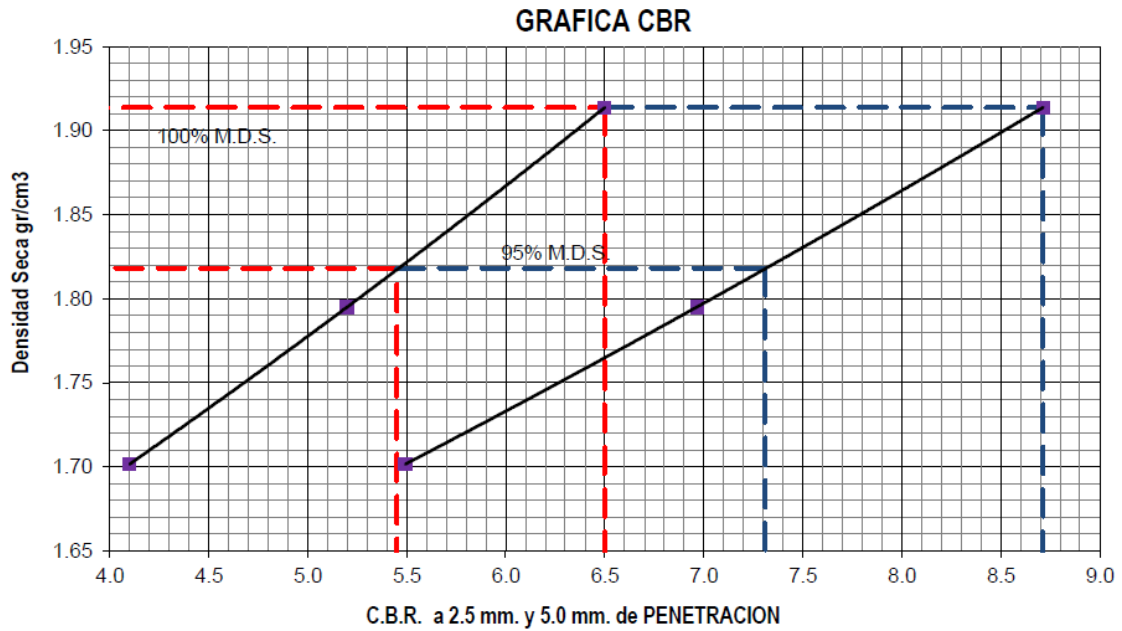
<b>RESULTADO</b>	
<b>MÉTODO</b>	<b>A</b>
<b>MDS</b>	<b>1.914</b>
<b>OCH</b>	<b>11.6 %</b>

**Figura N° 41: Proctor Modificado del suelo natural C-2**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 41, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado en la calicata 2, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 11.6por ciento y densidad máxima de 1.914 g/cm<sup>3</sup>.

- California Bearing Ratio (CBR).



CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	6.5	8.7
95%	5.5	7.3

**Figura N° 42: CBR del suelo natural C-2**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 42 se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 5.5 y 7.3 por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014), el CBR se obtendrá a una penetración de 0.1" y a 95 por ciento y deberá ser mayor al 6 por ciento para considerar una capa subrasante apta. Sin embargo, el CBR del suelo de la calicata N°1 y calicata N°2 son de 4.4 y 5.5 por ciento respectivamente, esto indica que la sub rasante es inadecuada, por tanto, se procederá a optar una alternativa de solución que será el uso de estabilizadores de los suelos.

### 5.3. Estabilización del suelo

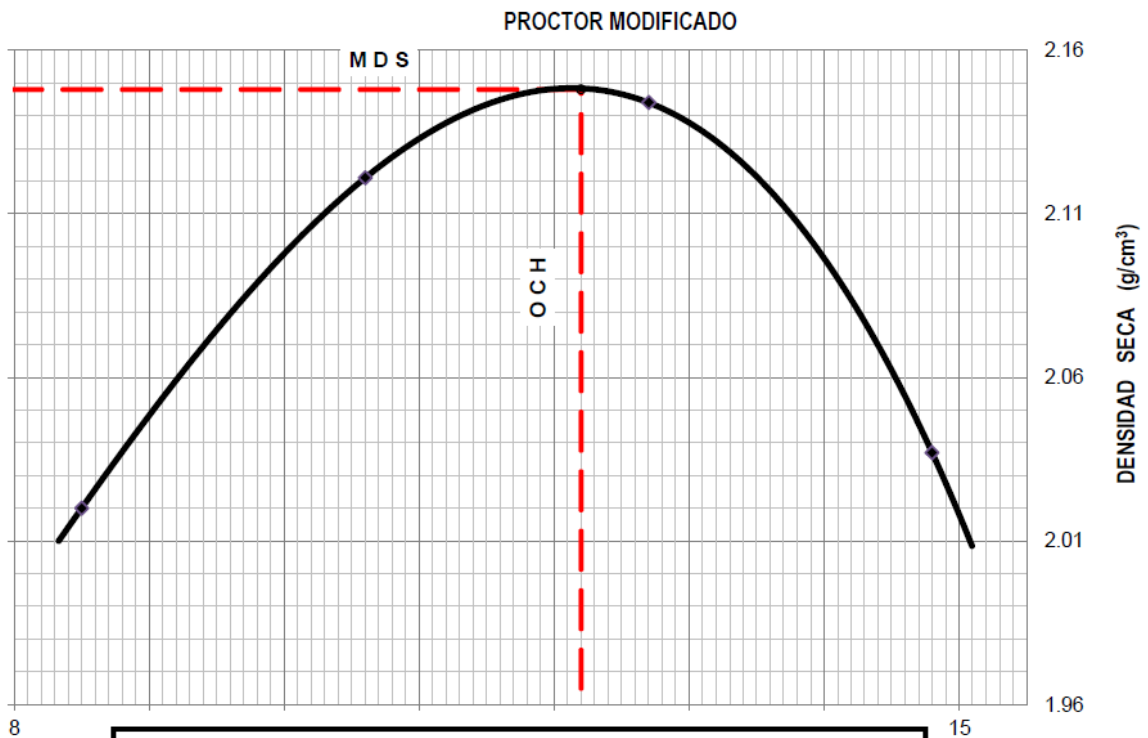
Después de analizar la capacidad portante del suelo y observar que no cumple con las condiciones necesarias para soportar las cargas vehiculares, se evalúa a proceder una mejora del suelo con estabilizadores químicos. Se consideró dos alternativas de estabilizadores; cloruro de magnesio y cloruro de calcio

#### 5.3.1. Estabilización del suelo con cloruro de magnesio

Mejoramiento del suelo en la muestra de la calicata N° 1:

Adicionando 3 por ciento de cloruro de magnesio se obtiene los siguientes resultados.

- Proctor Modificado



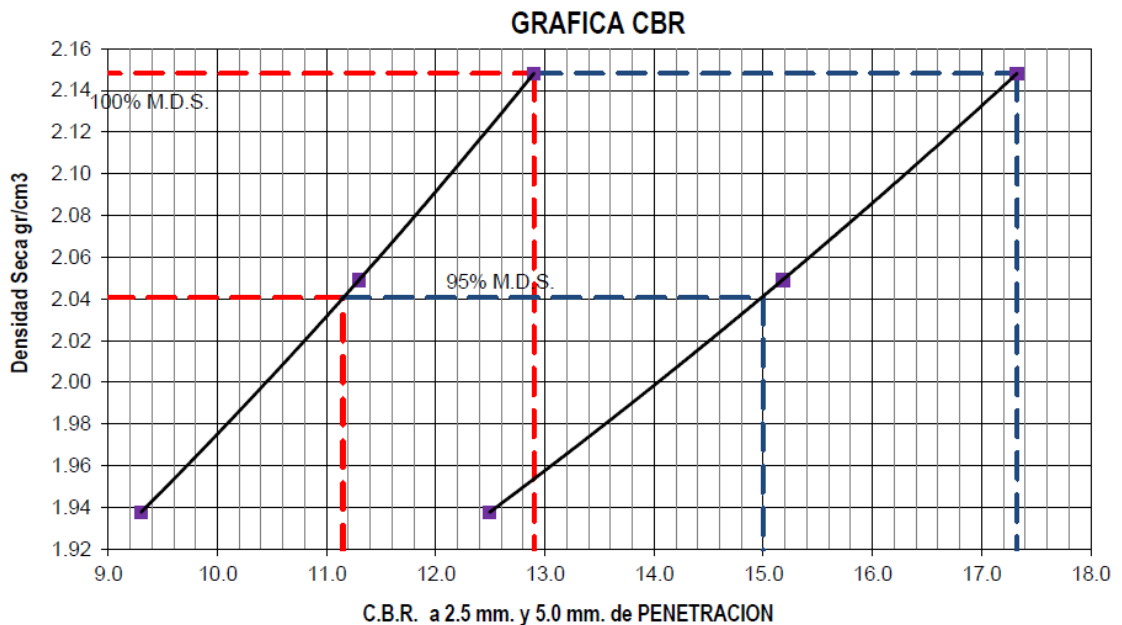
RESULTADO	
MÉTODO	A
MDS	2.148
OCH	12.2 %

**Figura N° 43: Proctor Modificado con 3 por ciento de cloruro de magnesio C-1**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 43, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado con 3 por ciento de cloruro de magnesio, en la calicata 1, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 12.2 por ciento y densidad máxima de 2.148 g/cm<sup>3</sup>.

- CBR



CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	12.9	17.3
95%	11.2	15.0

**Figura N° 44: CBR (adicionado 3 por ciento de cloruro de magnesio) C-1**

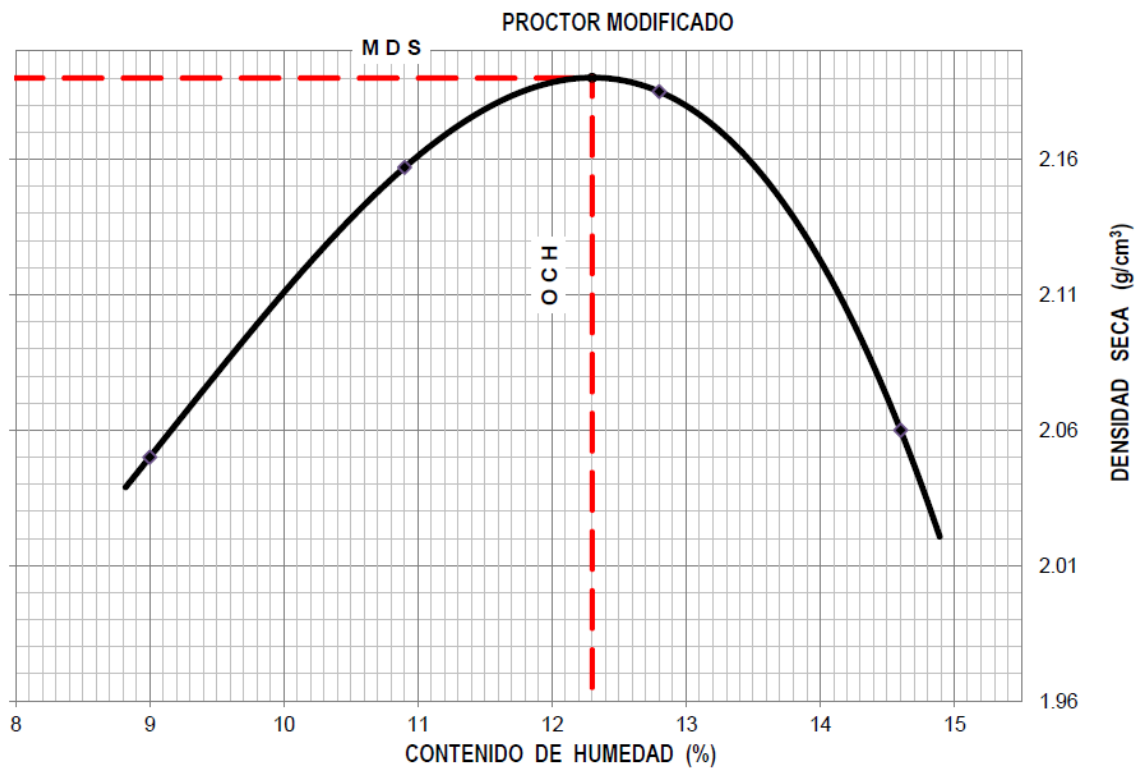
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 44 se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR adicionando 3 por ciento de cloruro

de magnesio, a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 11.2 y 15.0 por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

Adicionando 4 por ciento de cloruro de magnesio se obtiene los siguientes resultados.

- Proctor Modificado



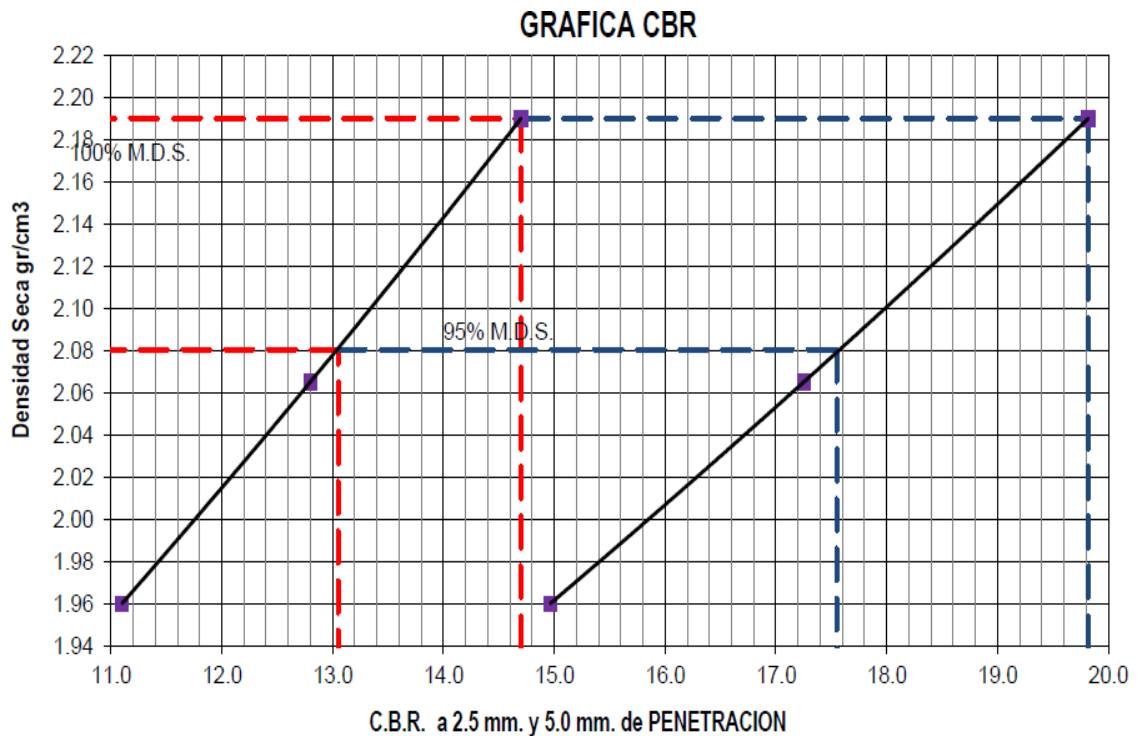
RESULTADO	
MÉTODO	A
MDS	2.190
OCH	12.3 %

Figura N° 45: Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio C-1

Fuente: Elaborado por los autores.

En la Figura N° 45, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio en la calicata 1, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 12.3 por ciento y densidad máxima de 2.190 g/cm<sup>3</sup>.

- CBR



CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	14.7	19.8
95%	13.1	17.6

**Figura N° 46: CBR (adicionado 4 por ciento de cloruro de magnesio) C-1**

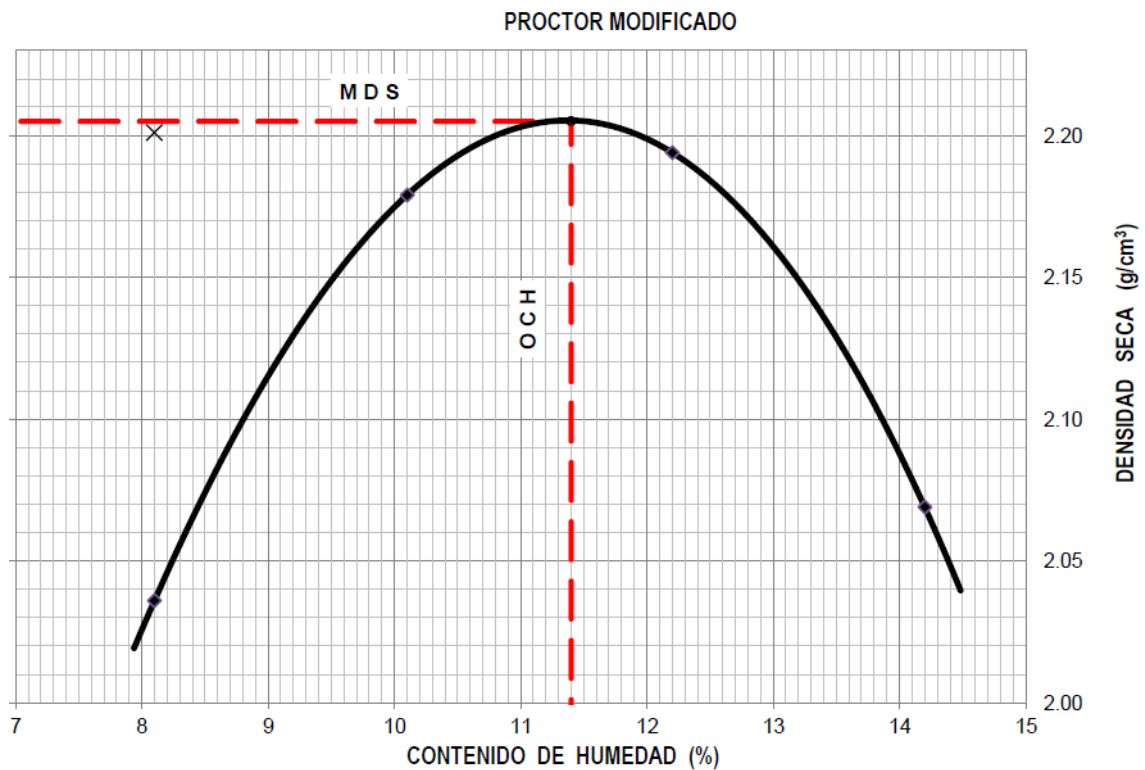
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 46 se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR adicionando 4 por ciento de cloruro

de magnesio, a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 13.1 y 17.6 por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

Adicionando 5 por ciento de cloruro de magnesio se obtiene los siguientes resultados.

- Proctor Modificado



<b>RESULTADO</b>	
<b>MÉTODO</b>	<b>A</b>
<b>MDS</b>	<b>2.205</b>
<b>OCH</b>	<b>11.4 %</b>

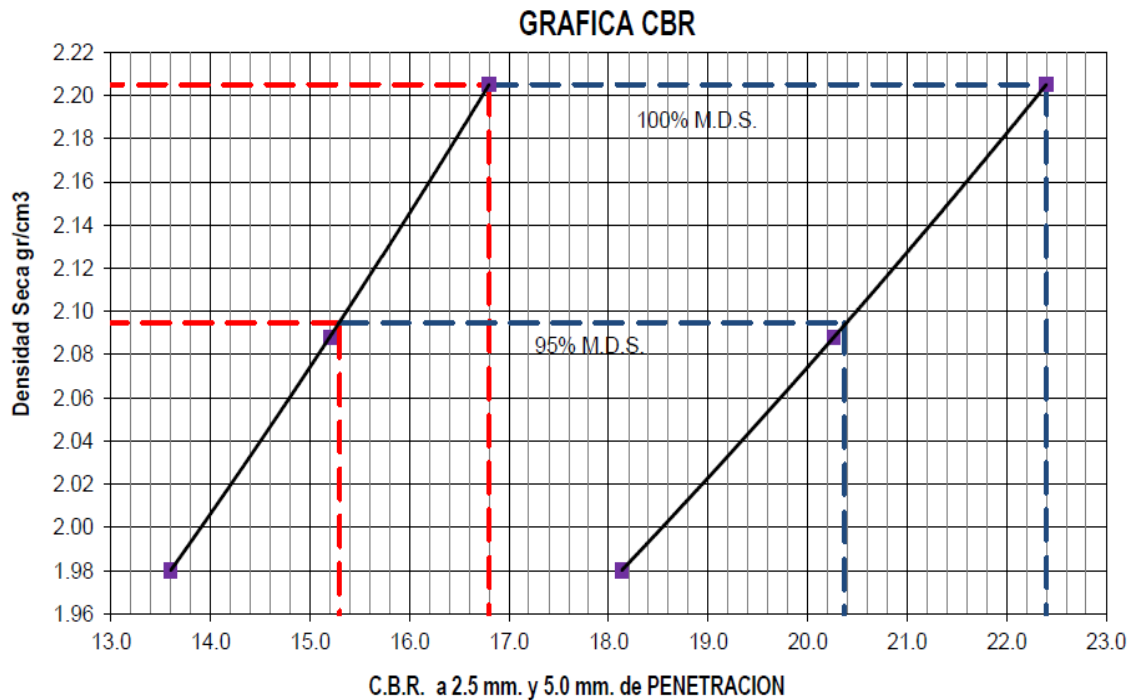
**Figura N° 47: Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio C-1**

**Fuente:** Elaborado por los autores.



En la Figura N° 47, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio en la calicata 1, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 11.4 por ciento y densidad máxima de 2.205 g/cm<sup>3</sup>.

- CBR



CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	16.8	22.4
95%	15.3	20.4

**Figura N° 48: CBR (adicionado 5 por ciento de cloruro de magnesio) C-1**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

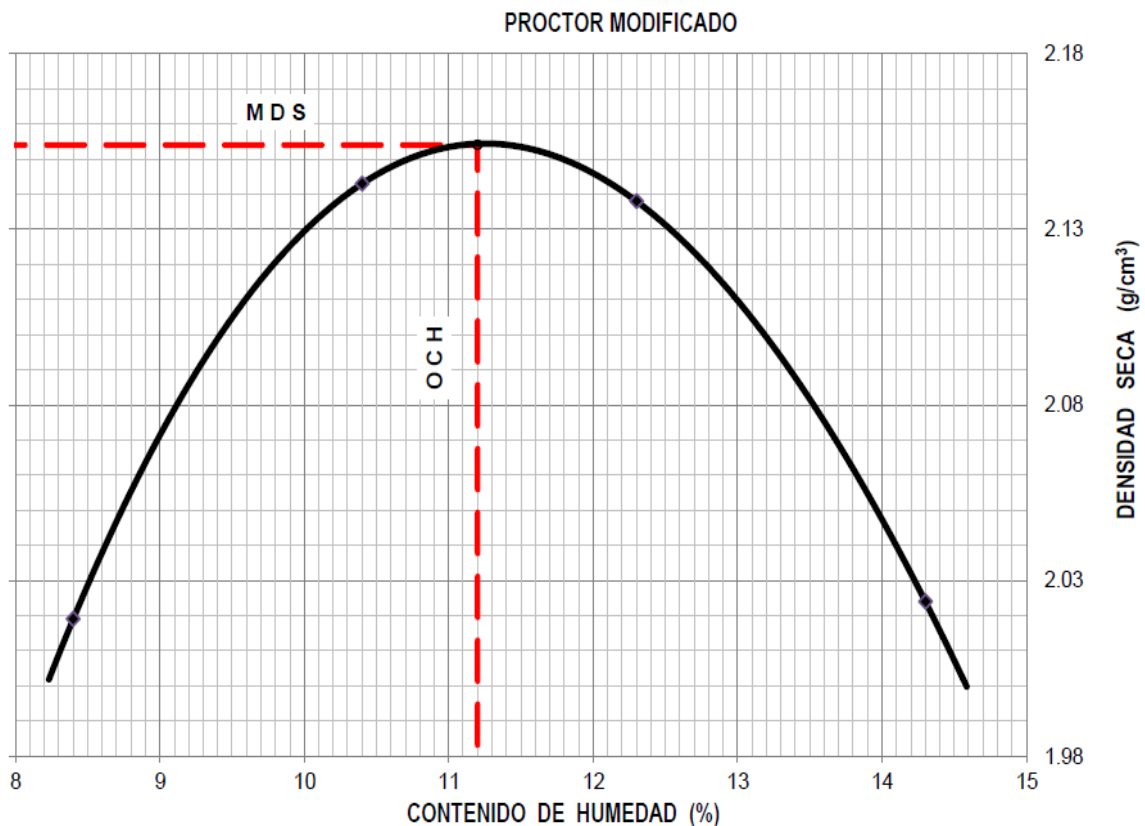
En la Figura N° 48 se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR adicionando 4 por ciento de cloruro de magnesio, a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 15.3 y

20.4 por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

✚ La capacidad portante del suelo extraído de la calicata N°2:

Adicionando 3 por ciento de cloruro de magnesio se obtiene los siguientes resultados.

- Proctor Modificado



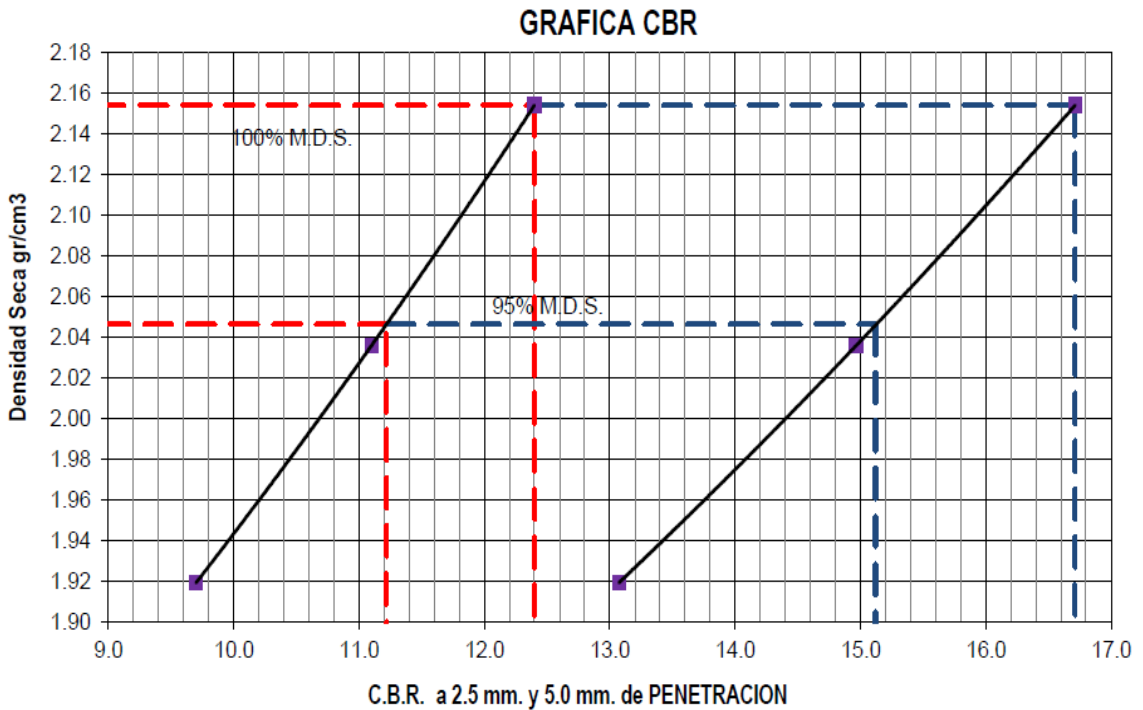
**Figura N° 49: Proctor Modificado con 3 por ciento de cloruro de magnesio C-2**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 49, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado con 3 por ciento de cloruro de magnesio en la calicata

2, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 11.2 por ciento y densidad máxima de 2.154 g/cm<sup>3</sup>.

- CBR



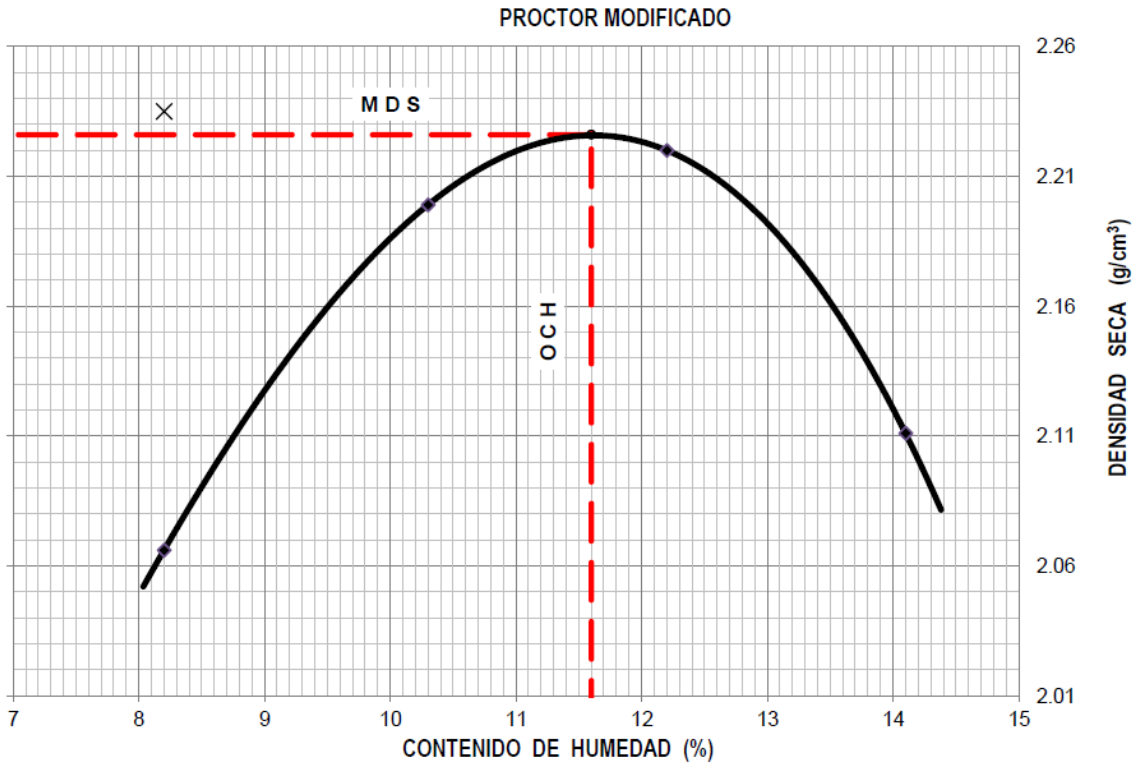
CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	12.4	16.7
95%	11.2	15.1

**Figura N° 50: CBR (adicionado 3 por ciento de cloruro de magnesio) C-2**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 50, se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR adicionando 3 por ciento de cloruro de magnesio, a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 11.2 y 15.1 por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

Adicionando 4 por ciento de cloruro de magnesio se obtiene los siguientes resultados.

- Proctor Modificado



<b>RESULTADO</b>	
<b>MÉTODO</b>	<b>A</b>
<b>MDS</b>	<b>2.226</b>
<b>OCH</b>	<b>11.6 %</b>

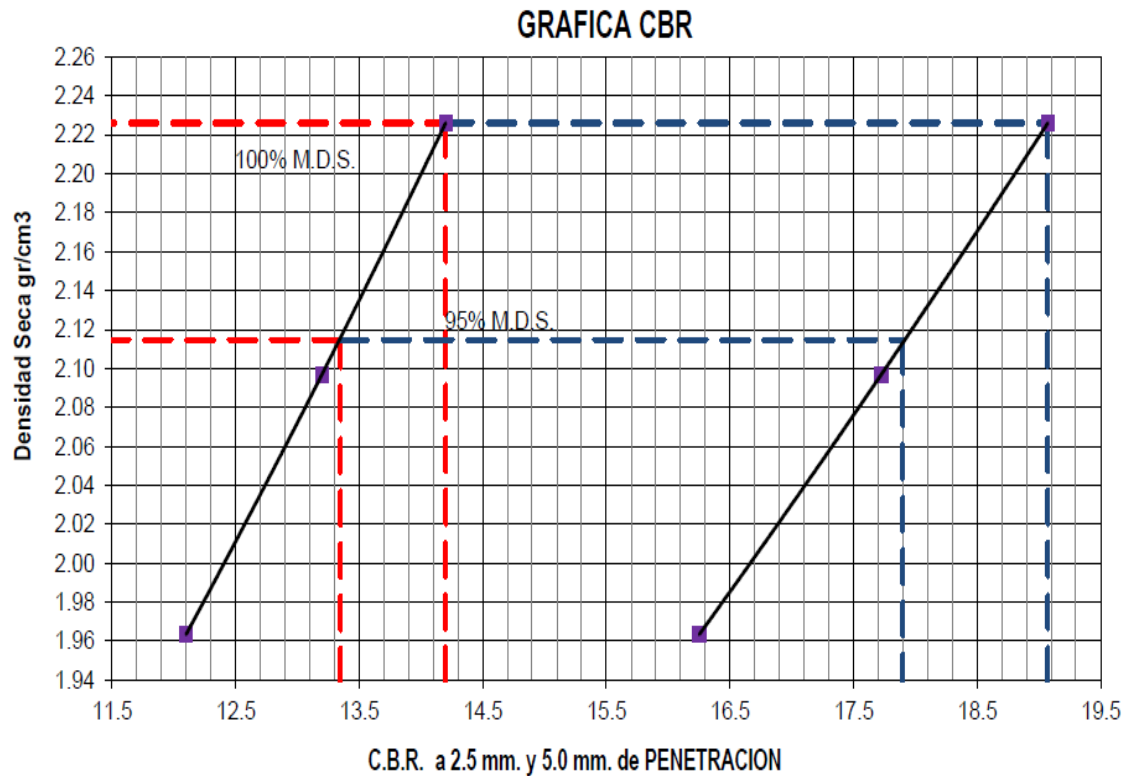
**Figura N° 51: Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio C-2**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 51, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado con 4 por ciento de cloruro de magnesio en la calicata

2, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 11.6por ciento y densidad máxima de 2.226 g/cm<sup>3</sup>.

- CBR



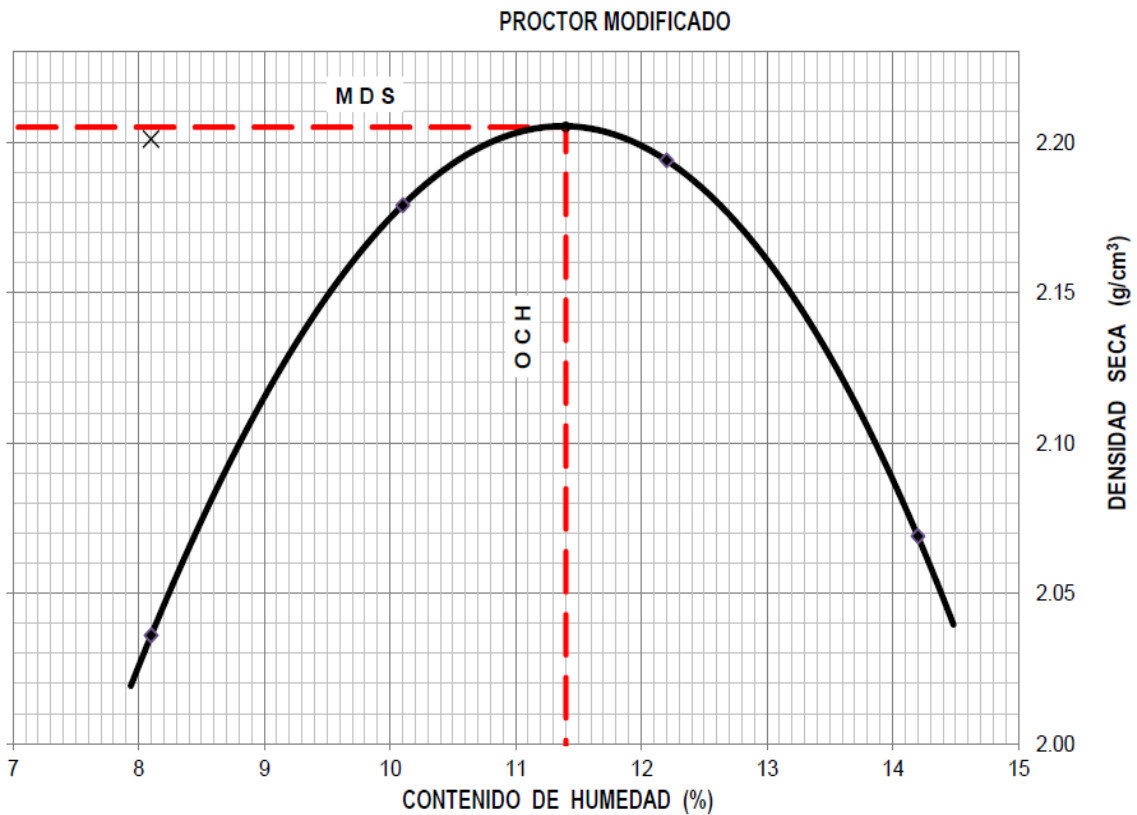
CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	14.2	19.1
95%	13.4	17.9

**Figura N° 52: CBR (adicionado 4 por ciento de cloruro de magnesio) C-2**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 52, se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR adicionando 4 por ciento de cloruro de magnesio, a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 13.4 y 17.9por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

Adicionando 5 por ciento de cloruro de magnesio se obtiene los siguientes resultados.

- Proctor Modificado



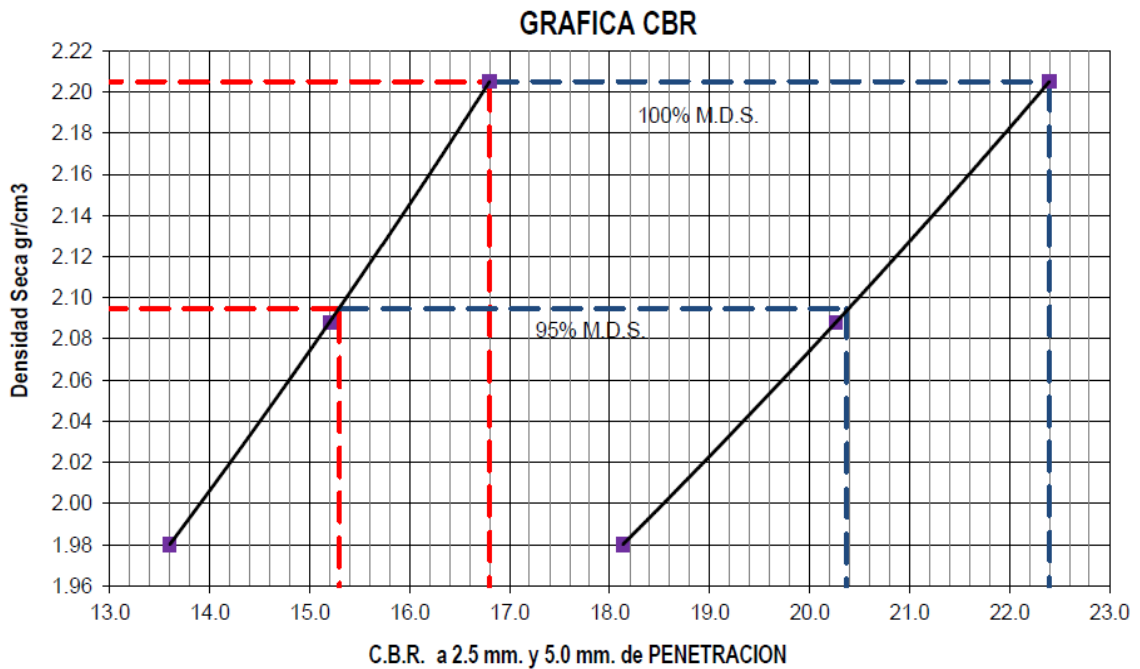
<b>RESULTADO</b>	
<b>MÉTODO</b>	<b>A</b>
<b>MDS</b>	<b>2.205</b>
<b>OCH</b>	<b>11.4 %</b>

**Figura Nº 53: Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio C-2**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 53, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado con 5 por ciento de cloruro de magnesio en la calicata 2, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 11.4 por ciento y densidad máxima de 2.205 g/cm<sup>3</sup>.

- CBR



CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	16.8	22.4
95%	15.3	20.4

**Figura N° 54: CBR (adicionado 5 por ciento de cloruro de magnesio) C-2**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 54, se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR adicionando 5 por ciento de cloruro de magnesio, a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 15.3 y

20.4 por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

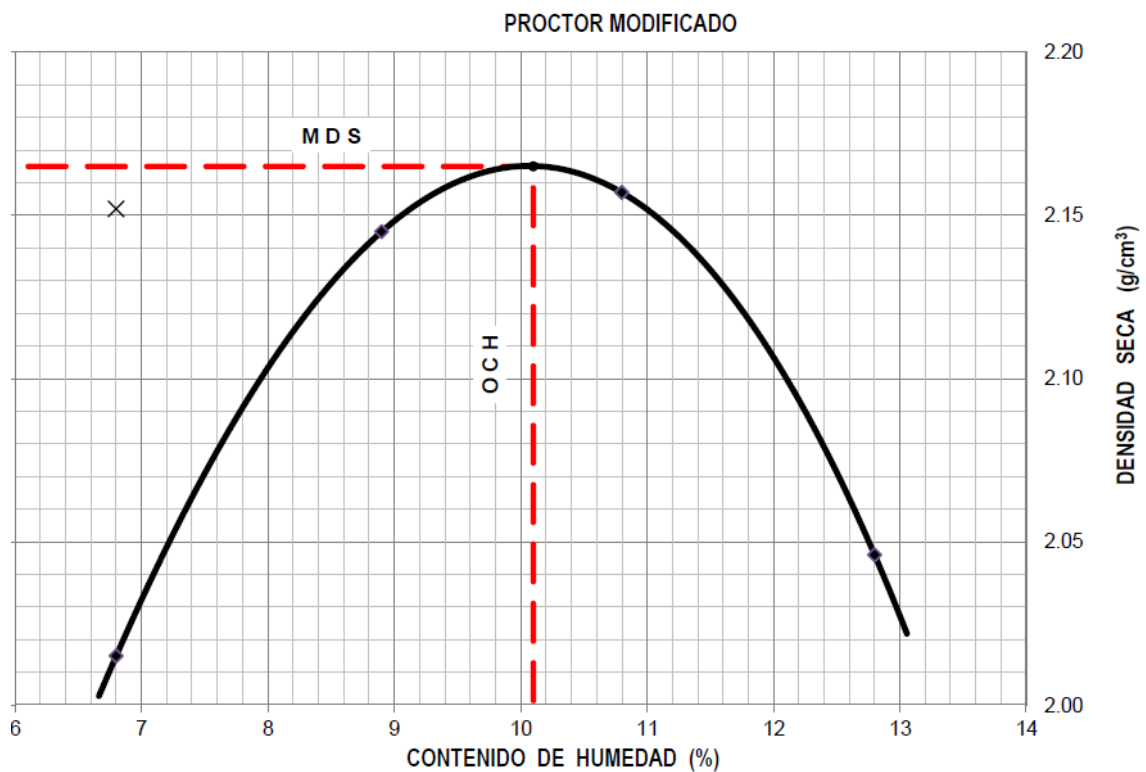
### 5.3.2. Estabilización de suelo con cloruro de calcio

#### 5.3.2.1. Estabilización del suelo con cloruro de calcio

La capacidad portante del suelo extraído de la calicata N°1:

Adicionando 1 por ciento de cloruro de calcio se obtiene los siguientes resultados.

- Proctor Modificado



<b>RESULTADO</b>	
<b>MÉTODO</b>	<b>A</b>
<b>MDS</b>	<b>2.165</b>
<b>OCH</b>	<b>10.1 %</b>

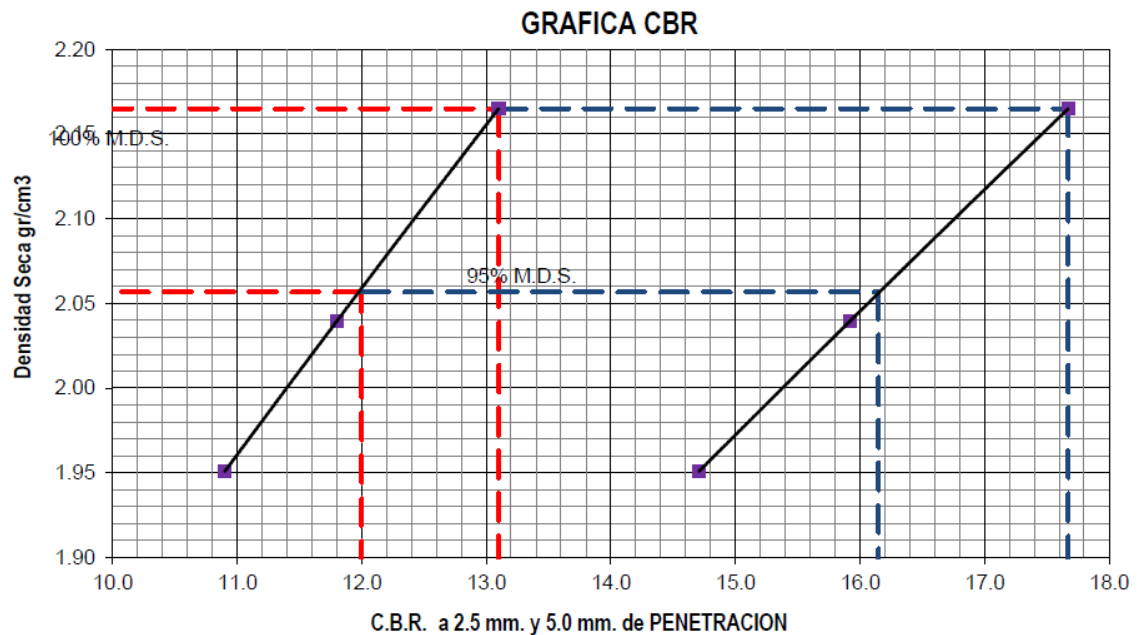
Figura N° 55: Proctor Modificado con 1 por ciento de cloruro de calcio C-1



**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 55, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado con 1 por ciento de cloruro de calcio, en la calicata 1, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 10.1 por ciento y densidad máxima de 2.165 g/cm<sup>3</sup>.

- CBR



CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	13.1	17.7
95%	12.0	16.2

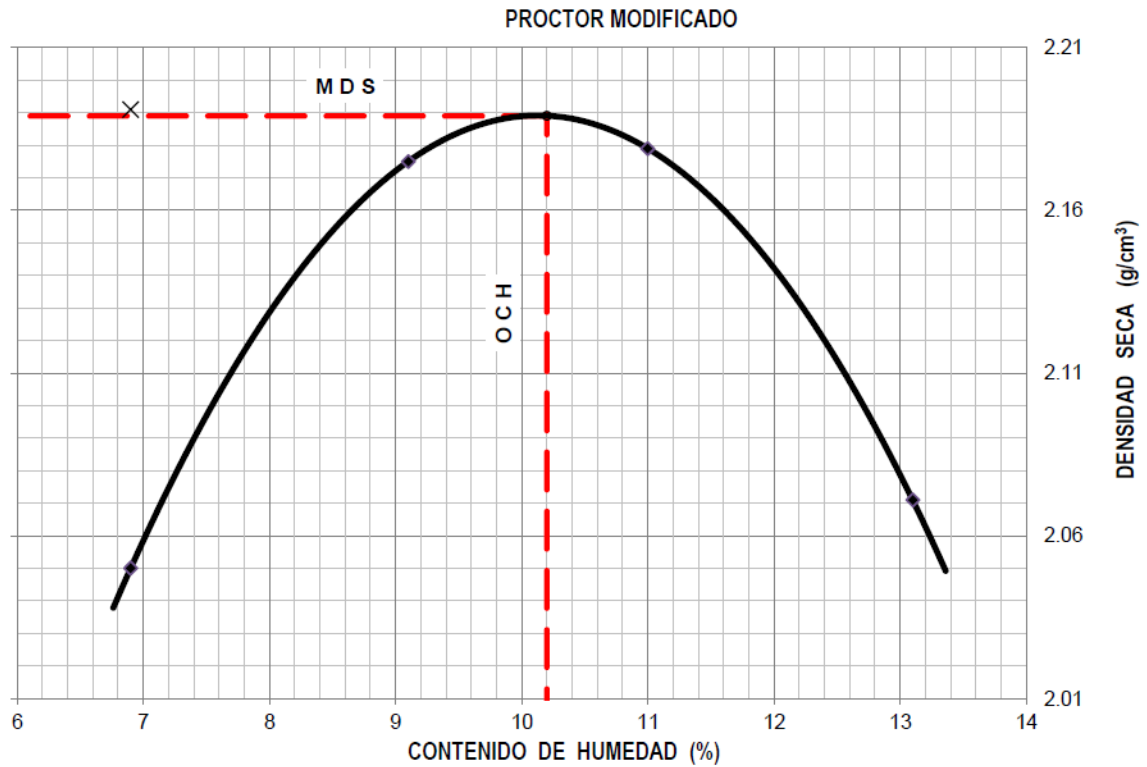
**Figura N° 56: CBR (adicionado 1 por ciento de cloruro de calcio) C-1**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 56, se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR adicionando 1 por ciento de cloruro de calcio, a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 12.0 y 16.2 por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

Adicionando 1.5 por ciento de cloruro de calcio se obtiene los siguientes resultados.

- Proctor Modificado



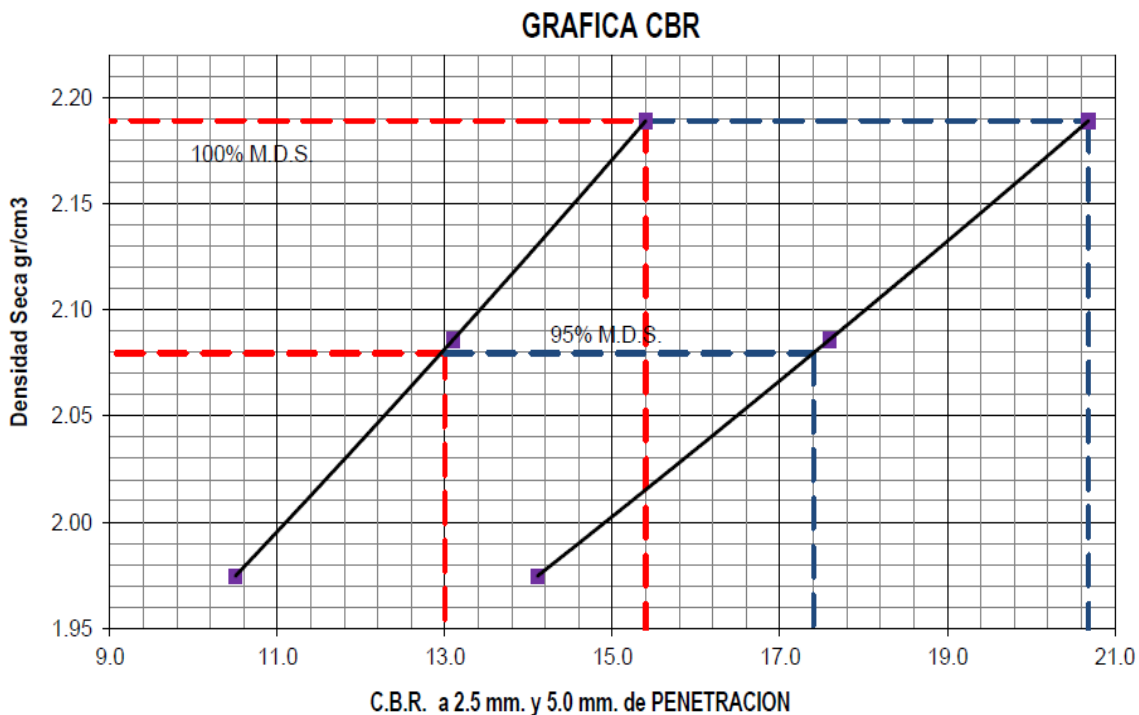
RESULTADO	
MÉTODO	A
MDS	2.189
OCH	10.2 %

Figura Nº 57: Proctor Modificado con 1.5 por ciento de cloruro de calcio C-1

Fuente: Elaborado por los autores.

En la Figura Nº 57, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado con 1.5 por ciento de cloruro de calcio, en la calicata 1, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 10.2 por ciento y densidad máxima de 2.189 g/cm<sup>3</sup>.

- CBR



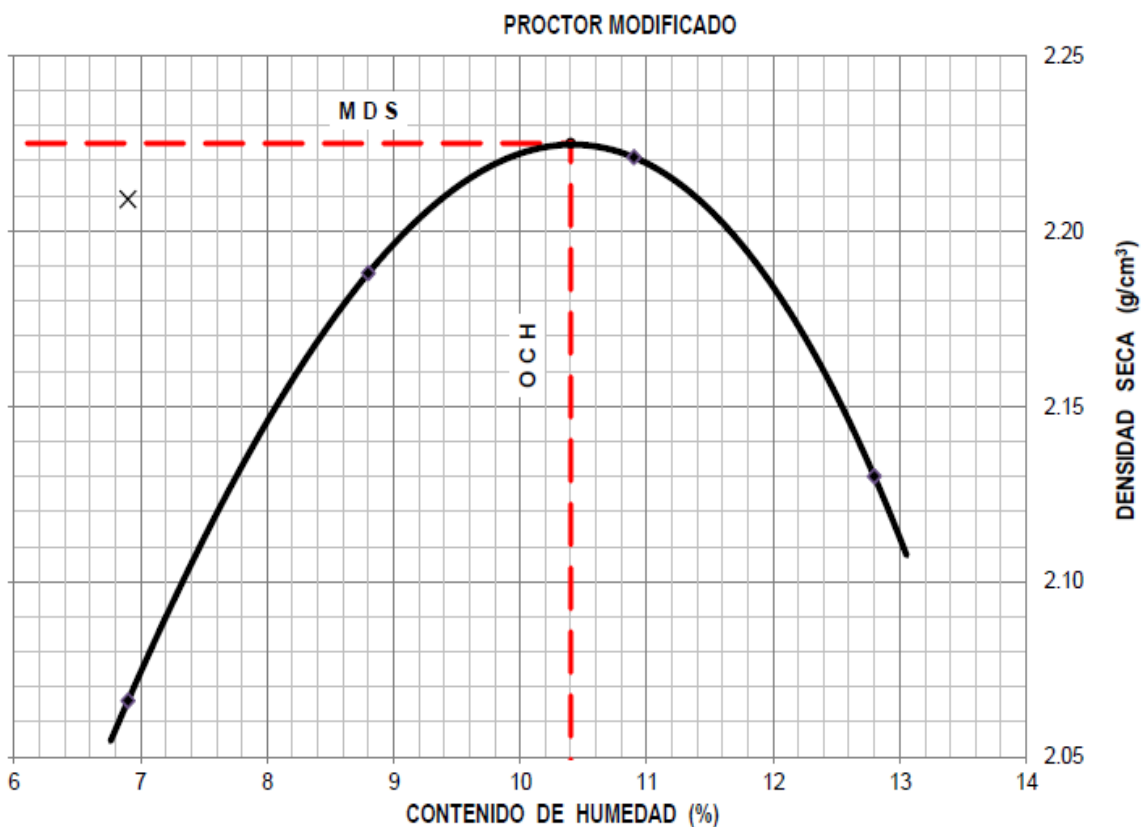
CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	15.4	20.7
95%	13.0	17.4

**Figura N° 58: CBR (adicionado 1.5 por ciento de cloruro de calcio) C-1**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 58, se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR adicionando 1.5 por ciento de cloruro de calcio, a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 13.0 y 17.4 por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

Adicionando 2 por ciento de cloruro de calcio se obtiene los siguientes resultados.

- Proctor Modificado

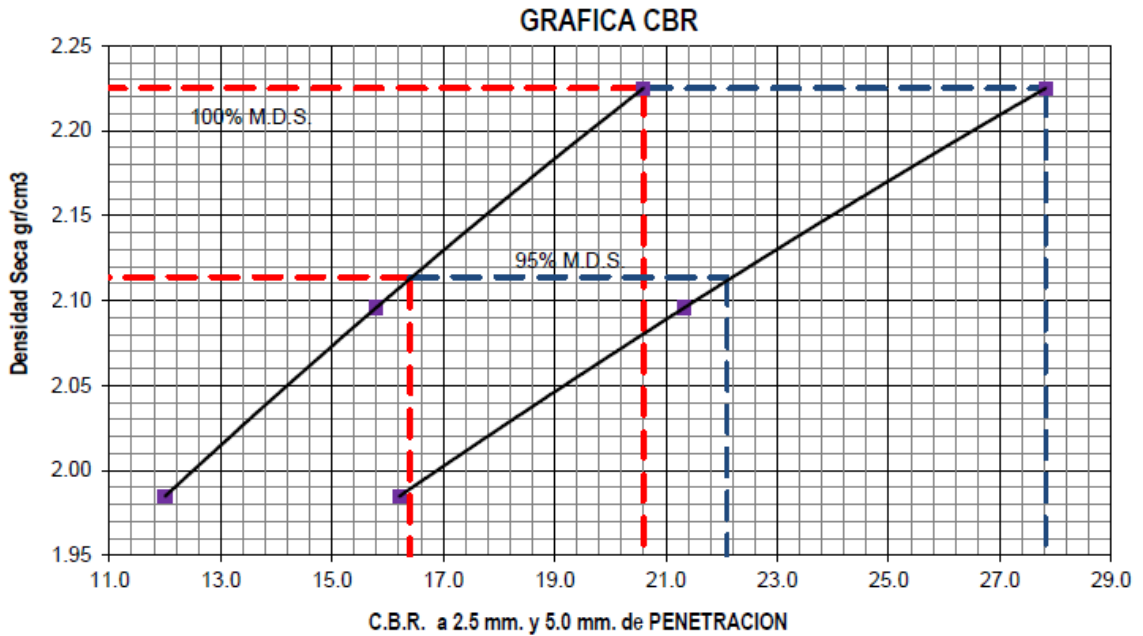


<b>RESULTADO</b>	
<b>MÉTODO</b>	<b>A</b>
<b>MDS</b>	<b>2.225</b>
<b>OCH</b>	<b>10.4 %</b>

**Figura N° 59: Proctor Modificado con 2 por ciento de cloruro de calcio C-1**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 59, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado con 2 por ciento de cloruro de calcio, en la calicata 1, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 10.4 por ciento y densidad máxima de 2.225 g/cm<sup>3</sup>.

- CBR



CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	20.6	27.8
95%	16.4	22.1

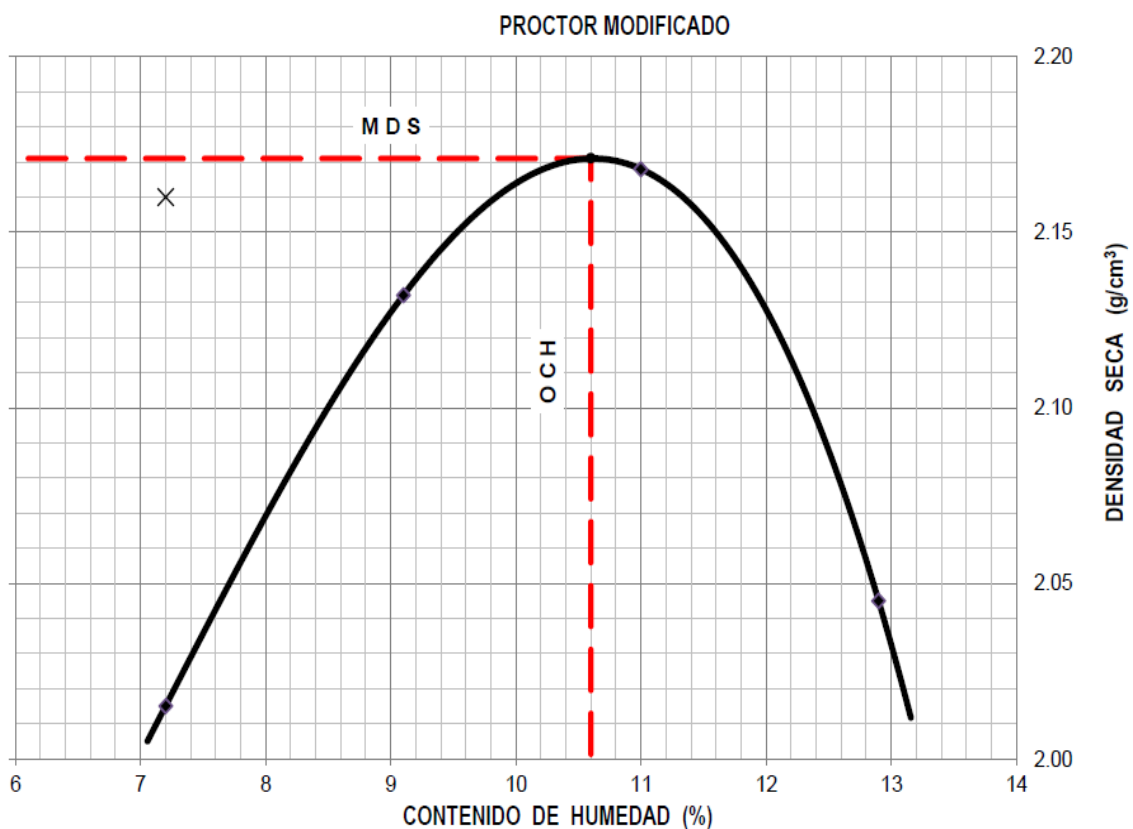
**Figura N° 60: CBR (adicionado 2 por ciento de cloruro de calcio) C-1**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 60, se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR adicionando 2 por ciento de cloruro de calcio, a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 16.4 y 22.1 por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

✚ La capacidad portante del suelo extraído de la calicata N°2:

Adicionando 1 por ciento de cloruro de calcio se obtiene los siguientes resultados.

- Proctor Modificado

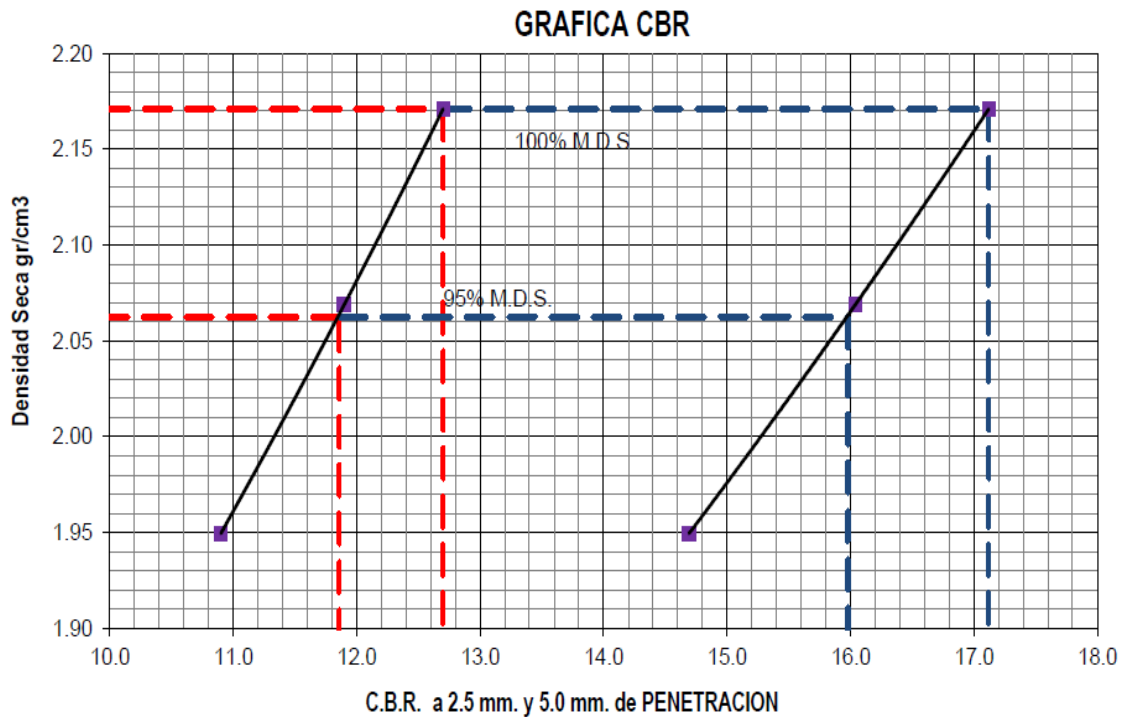


RESULTADO	
MÉTODO	A
MDS	2.171
OCH	10.6 %

**Figura N° 61: Proctor Modificado con 1 por ciento de cloruro de calcio C-2**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 61, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado con 1 por ciento de cloruro de calcio, en la calicata 2, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 10.6por ciento y densidad máxima de 2.171 g/cm³.

- CBR



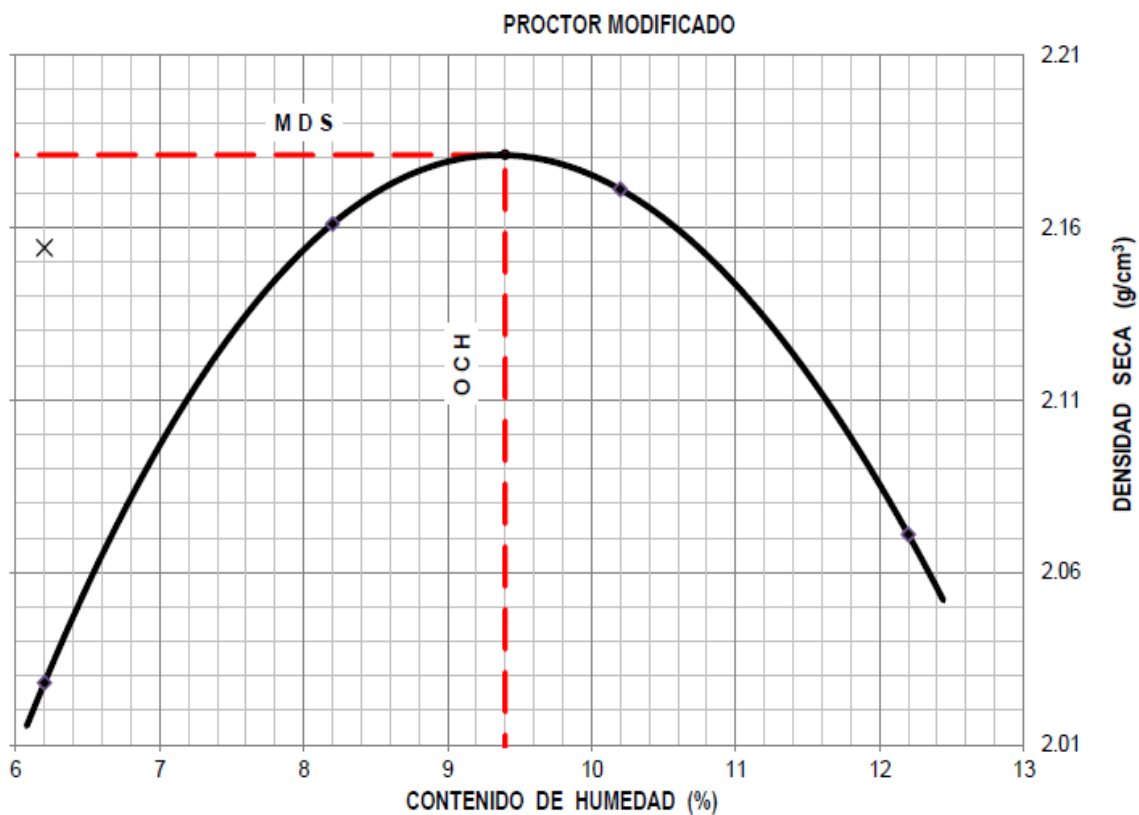
CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	12.7	17.1
95%	11.9	16.0

**Figura N° 62: CBR (adicionado 1 por ciento de cloruro de calcio) C-2**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 62, se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR adicionando 1 por ciento de cloruro de calcio, a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 11.9 y 16.0 por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

Adicionando 1.5 por ciento de cloruro de calcio se obtiene los siguientes resultados.

- Proctor Modificado



<b>RESULTADO</b>	
<b>MÉTODO</b>	<b>A</b>
<b>MDS</b>	<b>2.181</b>
<b>OCH</b>	<b>9.4 %</b>

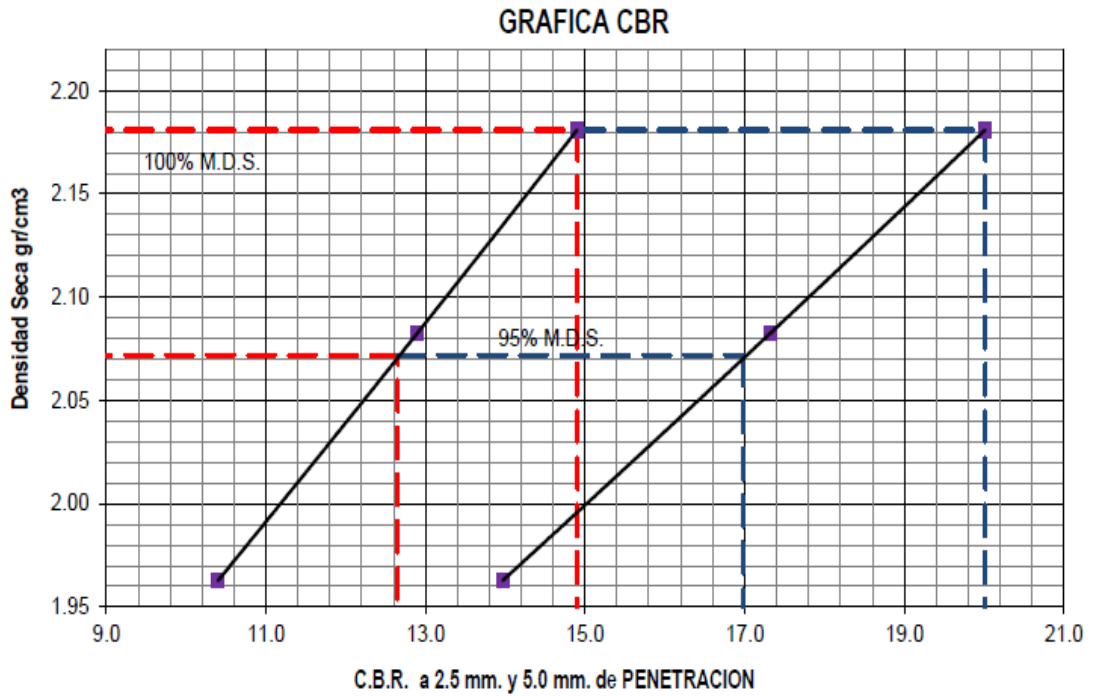
**Figura N° 63: Proctor Modificado con 1.5 por ciento de cloruro de calcio C-2**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 63, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado con 1.5 por ciento de cloruro de calcio, en la calicata 2, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 9.4 por ciento y densidad máxima de 2.181 g/cm<sup>3</sup>.



- CBR



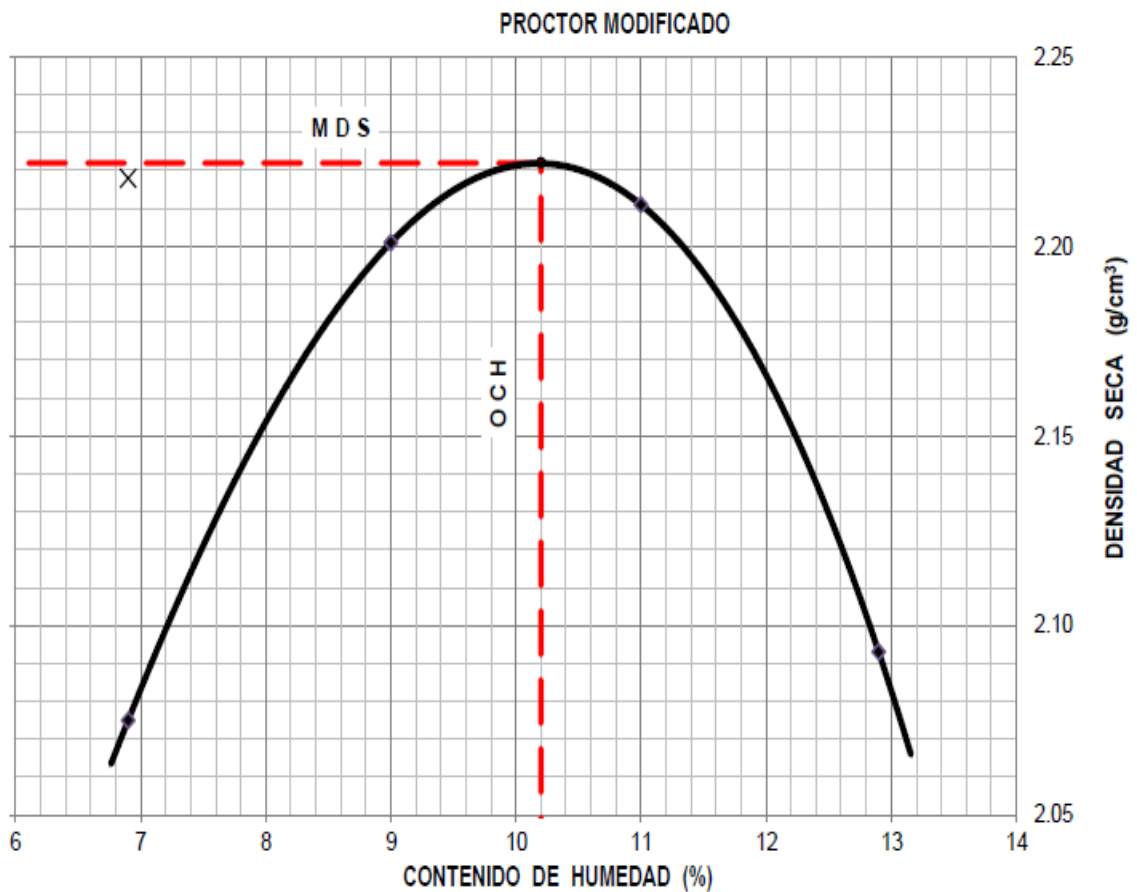
CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	14.9	20
95%	12.7	17.0

**Figura N° 64: CBR (adicionado 1.5 por ciento de cloruro de calcio) C-2**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 64, se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR adicionando 1.5 por ciento de cloruro de calcio, a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 12.7 y 17.0 por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

Adicionando 2 por ciento de cloruro de calcio se obtiene los siguientes resultados.

- Proctor Modificado

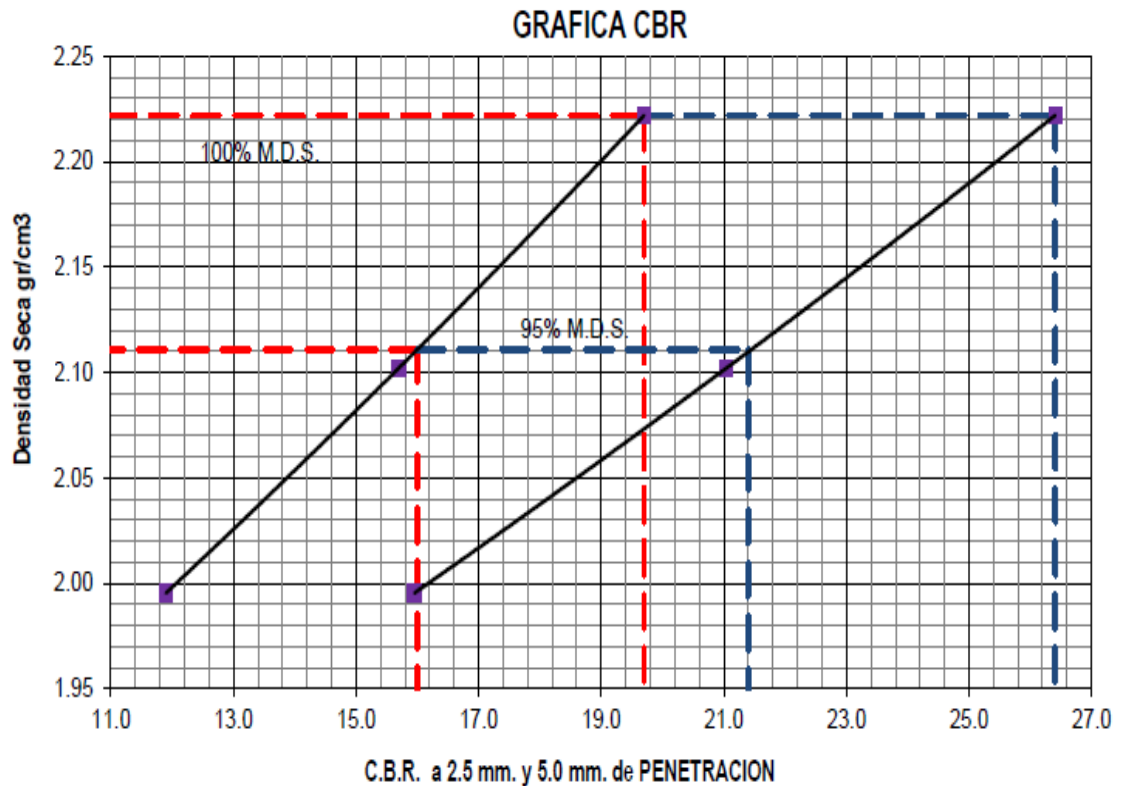


<b>RESULTADO</b>	
<b>MÉTODO</b>	<b>A</b>
<b>MDS</b>	<b>2.222</b>
<b>OCH</b>	<b>10.2 %</b>

**Figura N° 65: Proctor Modificado con 2 por ciento de cloruro de calcio C-2**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 65, se muestra el resultado al trabajar el ensayo Proctor Modificado con 2 por ciento de cloruro de calcio, en la calicata 2, obteniéndose un óptimo contenido de humedad del suelo de 10.2 por ciento y densidad máxima de 2.222 g/cm³.

- CBR



CBR	0.1" PENETRACION	0.2" PENETRACION
100%	19.7	26.4
95%	16.0	21.4

**Figura N° 66: CBR (adicionado 2 por ciento de cloruro de calcio) C-2**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N° 66, se puede visualizar la capacidad admisible del suelo expresado en 95 por ciento de CBR adicionando 1.5 por ciento de cloruro de calcio, a una penetración de 2.5 y 5 mm, con un CBR obtenido de 16.0 y 21.4 por ciento respectivamente. Teniendo en cuenta también la densidad del suelo.

🚧 Cuadro resumen de capacidad de soporte.

**Tabla N° 95: Resumen de CBR's al 95 por ciento a 0.1" Penetración**

	<b>CBR al 95% a 0.1" PENETRACIÓN</b>	
	<b>C-1</b>	<b>C-2</b>
Suelo natural	4.40%	5.50%
Suelo + 3% Cloruro de Magnesio	11.20%	11.20%
Suelo + 4% Cloruro de Magnesio	13.10%	13.40%
Suelo + 5% Cloruro de Magnesio	15.30%	15.30%
Suelo + 1% Cloruro de Calcio	12%	11.90%
Suelo + 1.5% Cloruro de Calcio	13%	12.70%
Suelo + 2% Cloruro de Calcio	16.40%	16%

**Fuente:** Elaborado por los autores. CBR obtenidos

En la tabla N° 95 se muestra un resumen de los valores de CBR obtenidos para todas las muestras ensayada.

#### **5.4. Demanda del proyecto**

El número de vehículos por día que circularan de aquí a 10 años por el proyecto corresponde a un IMDA de:

**IMDA (2029)= 269 Veh/día**

#### **5.5. Espesor de afirmado**

En la Figura N°67, se realizó el cálculo de NAASRA, con el fin de obtener el espesor de afirmado para cada estabilización.

C2	CBR %	ESAL	ESPELOR AFIRMADO (mm)
SUELO + 1% DE CALCIO	11.90	28529.00	140.56
SUELO + 1.5% DE CALCIO	12.70	28529.00	134.88
SUELO + 2% DE CALCIO	16.00	28529.00	116.49
SUELO + 3% DE MAGNESIO	11.20	28529.00	146.05
SUELO + 4% DE MAGNESIO	13.40	28529.00	130.36
SUELO + 5% DE MAGNESIO	15.30	28529.00	119.83

**Figura N° 67: Espesor de Afirmando por por ciento de estabilizante**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

### 5.6. Diseño geométrico

El diseño geométrico de la vía en estudio queda conformado por los siguientes parámetros:

IMDA PROYECTADO	269 VEH/DIA
EE (EJES EQUIVALENTES)	28528.15
TIPO DE CARRTERA POR SU DEMANDA	3RA CLASE
TIPO DE CARRTERA POR SU OROGRAFÍA	TERRENO ONDULADO
VELOC. DISEÑO	40 KM/H
BOMBEO DE CALZADA	3.25%
ESPELOR DE AFIRMADO	15 CM

**Figura N° 68: Parámetros de la vía**  
**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la figura N° 68, se visualiza las características de la vía; siendo un terreno ondulado de tercera clase con un espesor de afirmando de 15 cm para un IMDA de 269 veh/día.

## 5.7. Presupuesto

En la Figura N°69, se visualiza el presupuesto para el cloruro de magnesio como estabilizante con un importe total de S/. 165,888.45 y el precio por m2 de S/. 51.22.

PRESUPUESTO-ESTABILIZACION CON MAGNESIO					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	P.U.	Sub-total
	Excavación y Corte	m3	397.00	S/. 9.85	S/. 3,910.45
	Relleno con material propio	m3	170.00	S/. 10.16	S/. 1,727.20
	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DP=10 Km	m3	227.09	S/. 26.86	S/. 6,099.64
	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE	m2	3238.75	S/. 12.55	S/. 40,646.34
	CONFORMACION Y COMPACTACION DE AFIRMADO	m2	3238.75	S/. 12.19	S/. 39,480.39
	REGADO DE SALMUERA	m2	3238.75	S/. 7.07	S/. 22,897.98
Total Costo Directo				S/.	<b>S/. 114,761.99</b>
Gastos Generales				S/.	7.50% <b>S/. 8,607.15</b>
Utilidad				S/.	15.0% <b>S/. 17,214.30</b>
Sub-total				S/.	<b>S/. 140,583.44</b>
Total Impuestos				S/.	18.0% <b>S/. 25,305.02</b>
Total Oferta				S/.	<b>S/. 165,888.45</b>
Precio x m2					<b>S/. 51.22</b>

**Figura N° 69: Presupuesto para el cloruro de magnesio**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

Se presenta el presupuesto para el cloruro de calcio como estabilizante

PRESUPUESTO-ESTABILIZACION CON CALCIO					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	P.U.	Sub-total
	Excavación y Corte	m3	397.00	S/. 9.85	S/. 3,910.45
	Relleno con material propio	m3	170.00	S/. 10.16	S/. 1,727.20
	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DP=10 Km	m3	227.09	S/. 26.86	S/. 6,099.64
	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE	m2	3238.75	S/. 7.78	S/. 25,197.49
	CONFORMACION Y COMPACTACION DE AFIRMADO	m2	3238.75	S/. 12.19	S/. 39,480.39
	REGADO DE SALMUERA	m2	3238.75	S/. 7.07	S/. 22,897.98
Total Costo Directo				S/.	<b>S/. 99,313.14</b>
Gastos Generales				S/.	7.50% <b>S/. 7,448.49</b>
Utilidad				S/.	15.0% <b>S/. 14,896.97</b>
Sub-total				S/.	<b>S/. 121,658.60</b>
Total Impuestos				S/.	18.0% <b>S/. 21,898.55</b>
Total Oferta				S/.	<b>S/. 143,557.15</b>
Precio x m2					<b>S/. 44.32</b>

**Figura N° 70: Presupuesto para el cloruro de calcio**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N°70, se visualiza el presupuesto para el cloruro de calcio con un importe total de S/. 143,557.15 y el precio por m2 de S/. 44.32.

Se presenta el presupuesto de un pavimento flexible, para la comparación de costos.

PRESUPUESTO PAVIMENTO FLEXIBLE					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	P.U.	Sub-total
	Excavación y Corte	m3	397.00	S/. 9.85	S/. 3,910.45
	Relleno con material propio	m3	170.00	S/. 10.16	S/. 1,727.20
	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DP=10 Km	m3	227.09	S/. 26.86	S/. 6,099.64
	CONFORMACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE	m2	3238.75	S/. 7.78	S/. 25,197.49
	SUBBASE GRANULAR C/EQUIPO E= 0.20M	m2	3,238.75	S/. 16.07	S/. 52,046.74
	BASE GRANULAR C/EQUIPO E= 0.25M	m2	3,238.75	S/. 20.45	S/. 66,232.48
	IMPRIMACION ASFALTICA (BACHEO ASFALTO)	m2	3,238.75	S/. 4.55	S/. 14,736.32
	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE E=3"	m2	3,238.75	S/. 50.83	S/. 164,625.76
Total Costo Directo				S/.	<b>S/. 334,576.09</b>
Gastos Generales				S/.	7.50% S/. 25,093.21
Utilidad				S/.	15.0% S/. 50,186.41
Sub-total				S/.	<b>S/. 409,855.71</b>
Total Impuestos				S/.	18.0% S/. 73,774.03
Total Oferta				S/.	<b>S/. 483,629.73</b>
<b>Precio x m2</b>					<b>S/. 149.33</b>

**Figura N° 71: Presupuesto para el pavimento flexible**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

En la Figura N°71, se muestra el presupuesto de un pavimento flexible con un importe total de S/. 483,629.73 y el precio por m2 de S/. 149.33. Se calculó el presupuesto de un pavimento flexible para la comparación de costos.



## **CAPÍTULO VI**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

- Luego de realizar el diseño del camino básico de afirmado tratado con supresor de polvo para las calles de La Cooperativa La Unión – Lurigancho – Chosica se obtuvo un presupuesto por m<sup>2</sup> que asciende S/. 44.32. El resultado del presupuesto está por encima de lo previsto, el cual era S/. 40.00 por m<sup>2</sup>. Se estableció los S/. 40.00 por m<sup>2</sup> aumentándole un 20 por ciento a un presupuesto de afirmado promedio (afirmados sin tratamiento de supresor de polvo), el cual tiene un valor de S/. 33.08 por m<sup>2</sup>. Sin embargo, con el precio de S/. 44.32 por m<sup>2</sup> obtenido, se establece que el incremento es de 33.98por ciento.

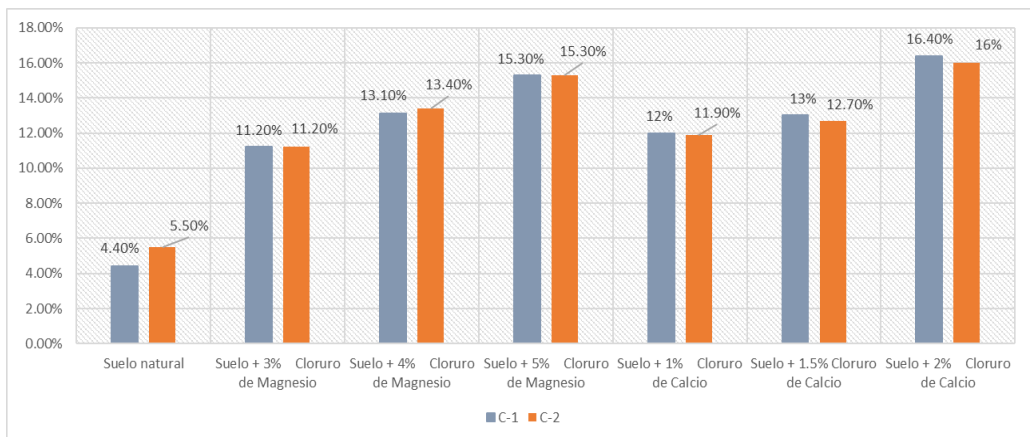
#### **6.1. Ensayos de laboratorio**

- Según el MTC para que la sub rasante sea adecuada, su suelo debe tener un CBR > 6por ciento. Los ensayos de laboratorio de suelos determinaron que el suelo de La Cooperativa La Unión – Lurigancho – Chosica presenta un valor de CBR promedio de 4.45 por ciento, estableciendo así que es un suelo no apto para el uso como subrasante, por tanto, no concuerda con la hipótesis planteada.

- Como se puede observar en la Figura N° 72, el valor de CBR alcanzado por las dosificaciones planteadas están en un rango de 11.20 por ciento a 16.40 por ciento.

## 6.2. Valor y rango de las dosificaciones

- Al momento de obtener los resultados, no se esperaba una mejora tan significativa, pues se pensaba que dicho valor estaría comprendido entre 8 por ciento y 12 por ciento.



**Figura N° 72: Comparación general de CBR de ambas calicatas**

**Fuente:** Elaborado por los autores.

- Con respecto al CBR, el cloruro de magnesio a una dosificación de 3 por ciento no tiene el máximo valor. El resultado difiere al obtenido por el investigador Jefferson Zambrano, debido a que determinó que su valor máximo de CBR lo obtuvo con la dosificación de 3 por ciento de magnesio. Esto podría ser debido a que el suelo que estudio dicho investigador es de tipo arena arcillosa con grava. En nuestra investigación, se obtuvo que el cloruro de calcio como estabilizador con una dosificación de 2 por ciento da un mayor valor de CBR respecto las demás dosificaciones ensayadas.

- Diversos investigadores señalan que, utilizando el cloruro de calcio como supresor de polvo en zonas áridas con temperaturas similares a las del distrito de Lurigancho – Chosica, se reduce la mitigación de polvo en un 82.1 por ciento. Por ende, no existe discrepancia con nuestra elección de dicho supresor de polvo.

## CONCLUSIONES

1. Luego de obtener los resultados para esta investigación se concluyó que el camino menos costoso para La Cooperativa La Unión – Lurigancho - Chosica consta de lo siguiente: una subrasante mejorada con cloruro de calcio, una calzada de dos carriles de 3.30 m de ancho cada uno y una velocidad media de marcha de 36 km/h. El camino estabilizado con cloruro de calcio asciende a un valor de S/. 44.32 por metro cuadrado siendo de menor costo respecto a la estabilización con magnesio con un monto que asciende a S/. 51.22 por metro cuadrado. Cabe señalar que el precio aproximado por metro cuadrado de un pavimento flexible es de S/. 149.33.
2. Los ensayos de laboratorio determinaron que el suelo de La Cooperativa La Unión – Lurigancho – Chosica presenta un suelo limo – arcilloso según el sistema de clasificación AASHTO, tiene un índice de plasticidad de 12.5 por ciento, un CBR de 4.95 por ciento (suelo inadecuado para subrasante).
3. Frente a la incorporación de cloruro de calcio con dosificaciones de 1 por ciento, 1.5 por ciento y 2 por ciento se obtuvo una mejora de CBR, consiguiendo valores promedio de 11.95 por ciento, 12.85 por ciento y 16.20 por ciento respectivamente. Por otro lado, con la incorporación de cloruro de magnesio con dosificaciones de 3 por ciento, 4 por ciento y 5 por ciento se obtuvo una mejora de CBR, consiguiendo valores promedio de 11.20 por ciento, 13.25 por ciento y 15.30 por ciento respectivamente.

4. Se estableció que el mejor estabilizador para el suelo de La Cooperativa La Unión – Lurigancho – Chosica es el cloruro de calcio con una dosificación de 1 por ciento. La razón radica en que la proporción de la dosificación es menor respecto a los otros, por ende, menos costosa y además que todas las dosificaciones ensayadas fijan espesores de 15 cm de afirmado (espesor mínimo según MTC).
5. Se diseñará una superficie de rodadura de afirmado de 15 cm de espesor y se utilizará cloruro de magnesio como mitigante de polvo para las calles de la cooperativa La Unión- Lurigancho-Chosica.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar los ensayos, teniendo en cuenta el manual de ensayo de laboratorio del MTC, las normas ASTM y NTP de suelos de manera adecuada para que obtener resultados óptimos y beneficiosos para el proyecto.
2. Utilizar la dosificación adecuada de los estabilizadores, en el caso de cloruro de magnesio 3 por ciento a 5 por ciento y cloruro de calcio 1 por ciento a 2 por ciento, con el propósito de no alterar demasiado la muestra y obtener los parámetros establecidos y necesarios.
3. Se recomienda realizar ensayos con dosificaciones superiores propuestas por el manual del MTC y determinar el comportamiento del suelo frente a este aumento.
4. En la presente tesis se utilizó cloruro de calcio y cloruro de magnesio como estabilizantes para mejorar la subrasante. Pero, se podría realizar más estudios con otros estabilizantes como polímeros o cauchos con la finalidad de determinar el estabilizador más económico para el proyecto.
5. Para la posible construcción de la vía, ambas partes, tanto la municipalidad y los pobladores deberán aportar para la ejecución del camino; pues aun siendo más económico que un pavimento flexible el monto no es muy accesible.

6. En el Perú no contamos con un manual de diseño para vías urbanas, por lo que podría ser un tema de estudio con la finalidad de estandarizar el diseño de caminos urbanos.

## ANEXOS

	<b>Página.</b>
Anexo 1. Plano de ubicación del proyecto	197
Anexo 2. Plano de planta y perfil	199
Anexo 3. Planos de secciones transversales	201
Anexo 4. Formato de conteo y clasificación vehicular	204
Anexo 5. Panel fotográfico	212
Anexo 6. Matriz de consistencia	219



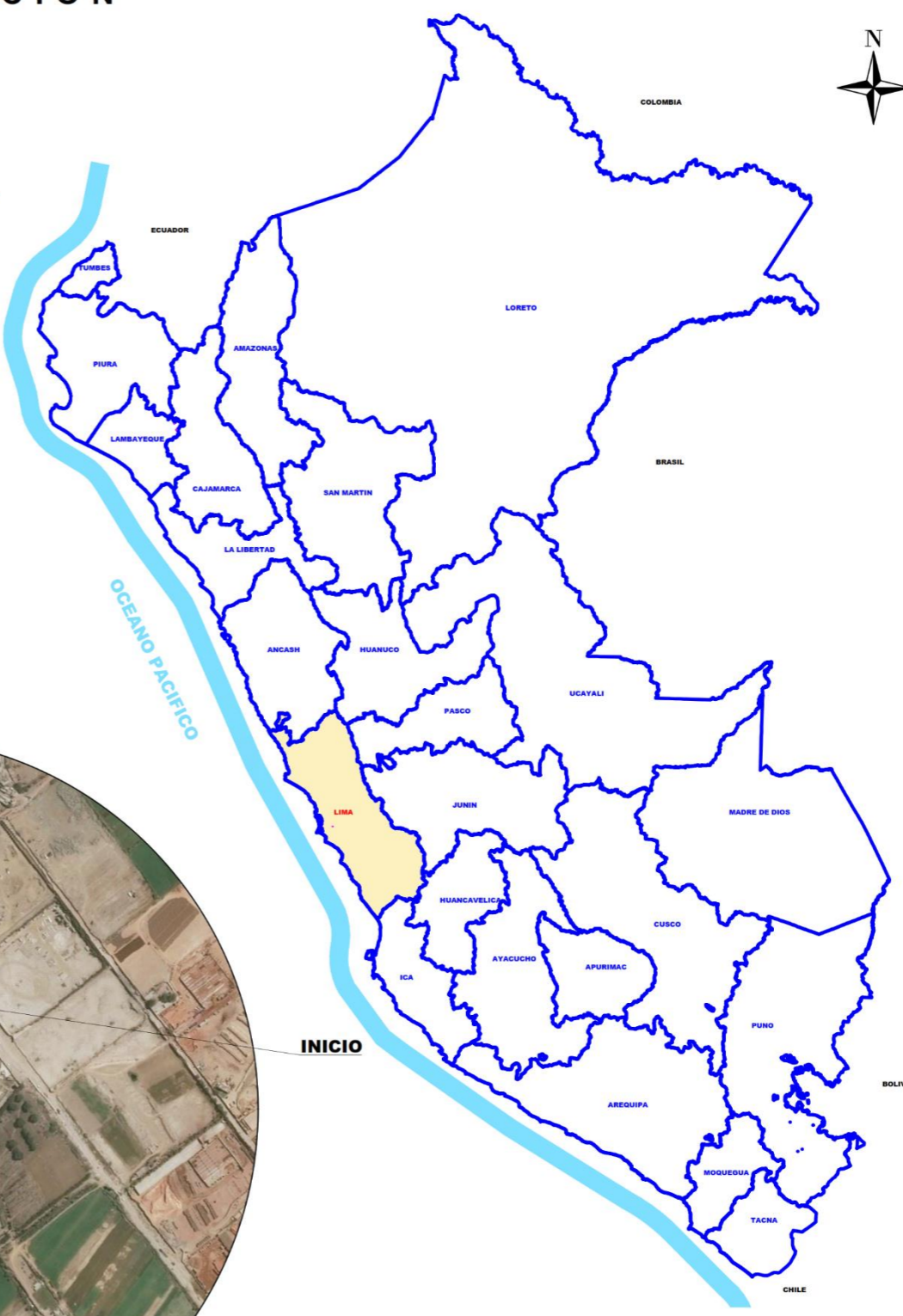
**ANEXO I**  
**PLANO DE UBICACIÓN**

# PLANO DE UBICACION

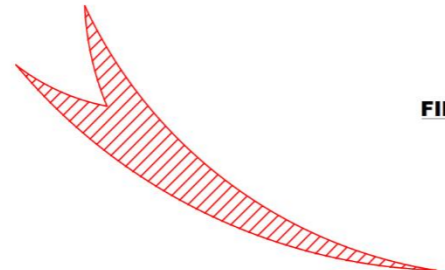
Datum Geodesico: WGS 84 Parametros de Proyeccion: Hemisferio Sur, Zona 18, Plano de Proyeccion UTM(Universal Transversal Marcador)



**UBICACION REGIONAL**  
ESC: 1 / 1 250 000



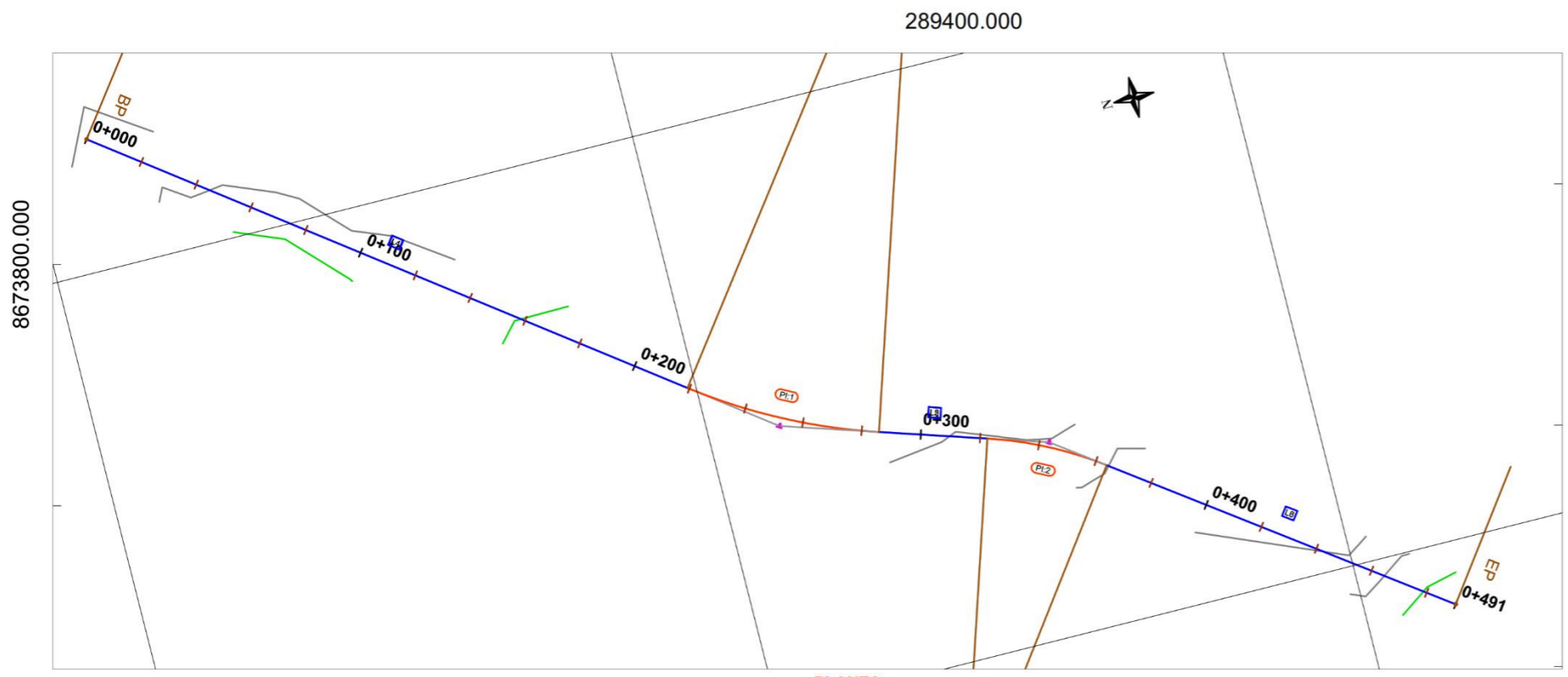
**UBICACION NACIONAL**  
ESC: 1 / 5 000 000



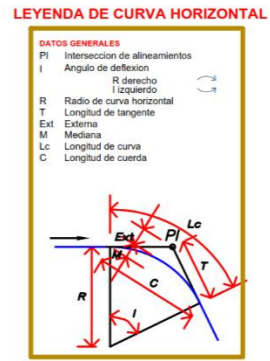
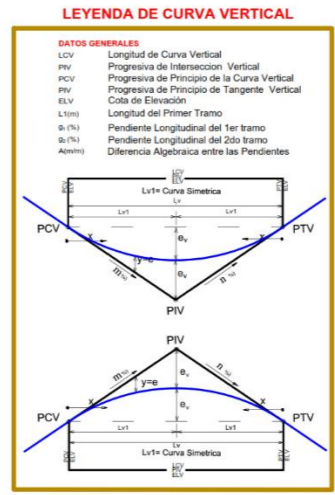
**UBICACION LOCAL**  
ESC: 1 / 5000

LEYENDA	
VIA EN ESTUDIO	
LIMITE DEPARTAMENTAL	
LIMITE PROVINCIAL	
LIMITE DISTRITAL	
RIOS Y QUEBRADAS	
NORTE	

**ANEXO II**  
**PLANO DE PLANTA Y PERFIL**



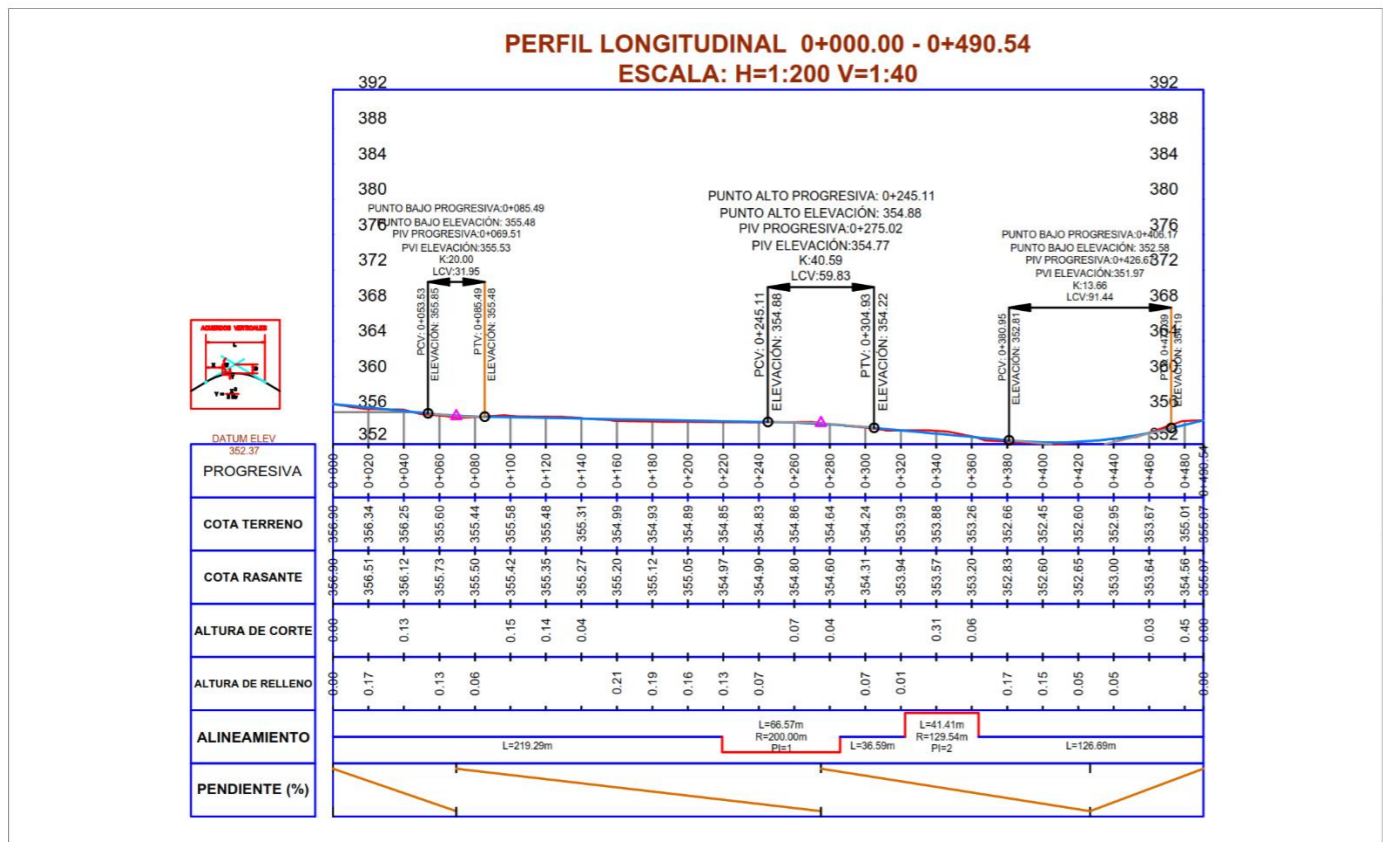
**PLANTA**  
Esc:1/1000 289200.000



**LEYENDA**

	Eje de Carretera
	Terreno
	Rasante
	Curvas de nivel
	Río
	Quebrada

Sistema de Proyección Cartográfica (UTM) Zona 17S  
 Elipsoide : WGS84 (World Geodesic System 1984)  
 Datum : Geocéntrico  
 Sistema de Cuadrículado cada 200m  
 Intervalo de curvas de nivel cada 1m

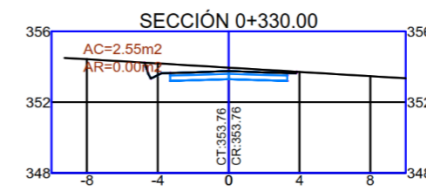
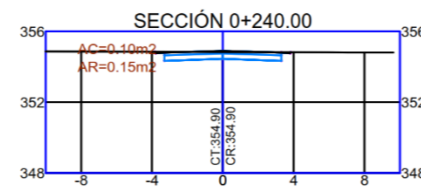
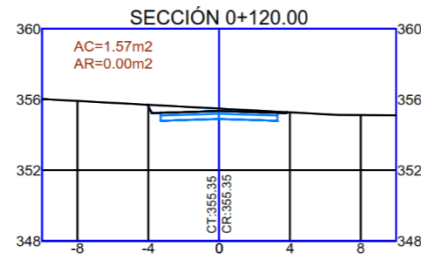
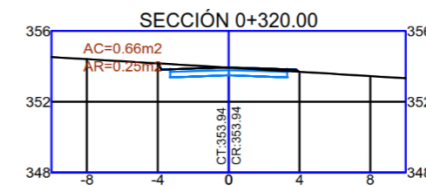
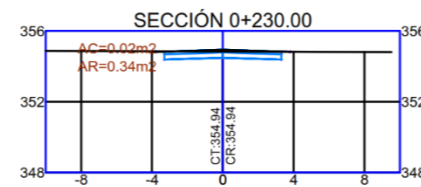
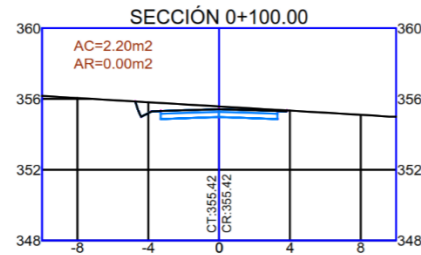
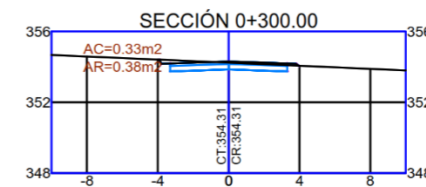
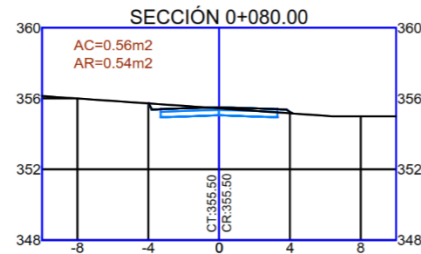
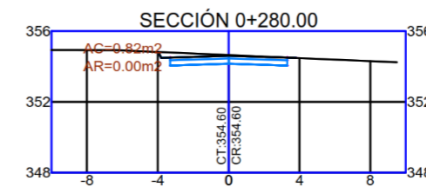
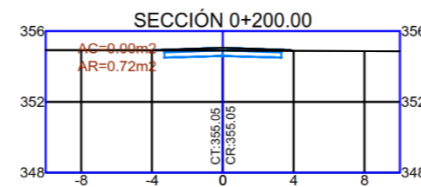
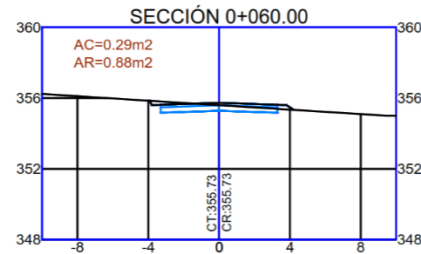
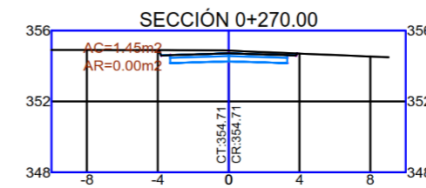
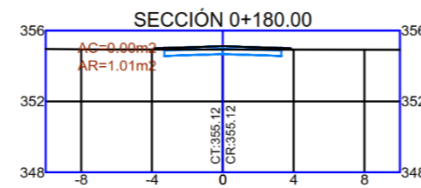
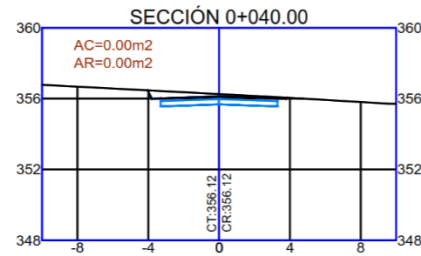
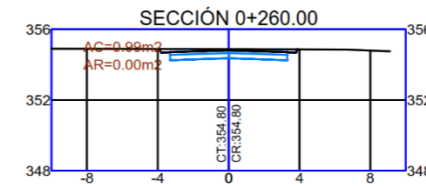
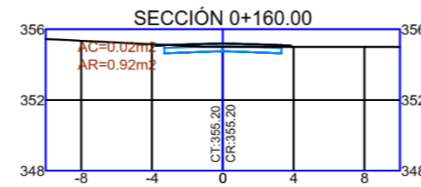
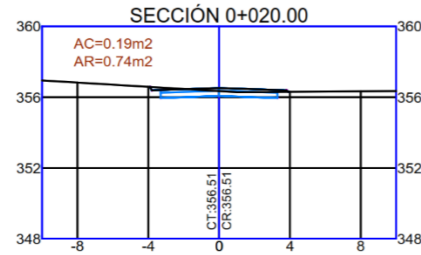
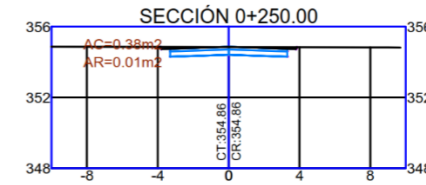
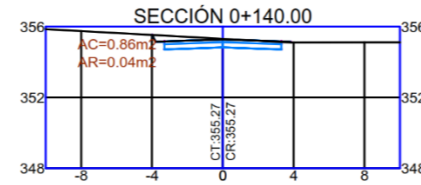
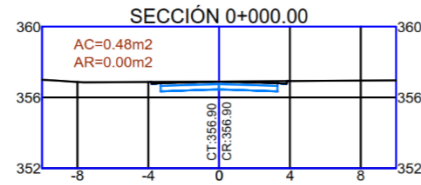


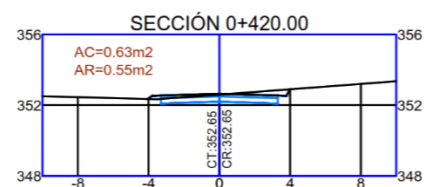
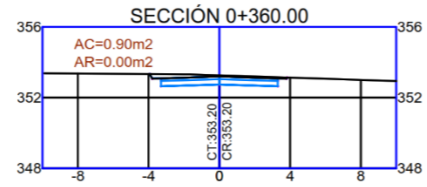
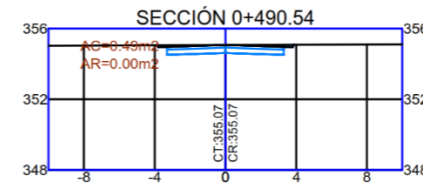
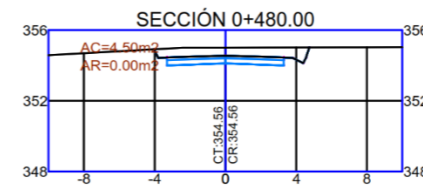
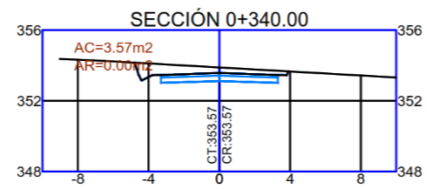
**PERFIL LONGITUDINAL**  
 Esc H: 1/2000  
 Esc V: 1/200

**CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA HORIZONTAL**

NÚMERO PI	DIRECCIÓN	DEFLEXIÓN (Δ)	RADIO	T	L	LC	E	M	PC	PI	PT	PI NORTE	PI ESTE
PI:1	S27° 11' 01"W	19°04'16"	200.00	33.60	66.57	66.26	2.80	2.76	0+219.29	0+252.89	0+285.86	8673575.90	289293.17
PI:2	S26° 48' 20"W	18°18'52"	129.54	20.88	41.41	41.23	1.67	1.65	0+322.45	0+343.33	0+363.86	8673489.12	289265.56

**ANEXO III**  
**PLANO DE SECCIONES TRANSVERSALES**





**PLANO IV**

**FORMATO DE CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR**

















**PLANO V**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**





**Imagen N° 1: Calicata N°1**



**Imagen N° 2: Calicata N° 2**



**Imagen N° 3: Dimesionamiento de las calicatas 1.00 m x 0.80 m**



**Imagen N° 4: Calicatas a una profundidad de 1.50 m**



**Imagen N° 5: Ensayo de Granulometría**



**Imagen N° 6: Ensayo de Límite plástico**



**Imagen N° 7: Ensayo Límite Líquido**



**Imagen N° 8: Mezclando muestra para realizar el Proctor modificado**



**Imagen N° 10: Colocación de muestra (tercera capa) en el molde de Proctor modificado**



**Imagen N° 9: Momento de compactación del suelo – Proctor Modificado**



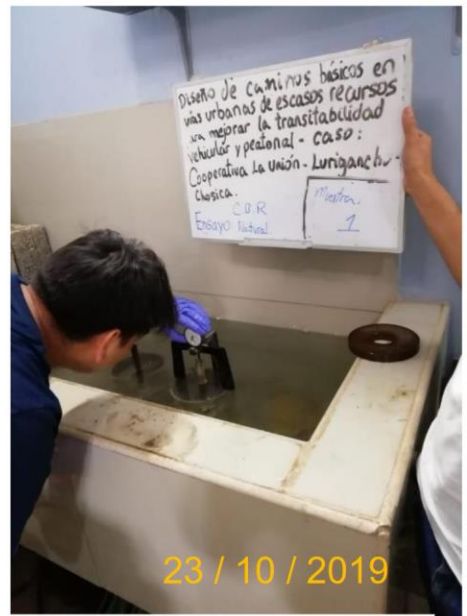
**Imagen N° 12: Colocación de muestra (primera capa) en el molde del CBR**



**Imagen N° 11: Momento antes de realizar la compactación de CBR**



23 / 10 / 2019  
Imagen N° 14: Pesado del molde -CBR



23 / 10 / 2019  
Imagen N° 13: Ensayo de expansión, colocando el dial encima del molde - CBR



27 / 10 / 2019  
Imagen N° 19: Revisando la última lectura del Dial, después de 4 días, suelo saturado



**Imagen N°20: Retirando el molde del pozo, para que luego sea colocado en la máquina de penetración**

**ANEXO IX**  
**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**Matriz de Consistencia**

DISEÑO DE CAMINOS BÁSICOS EN VÍAS URBANAS DE ESCASOS RECURSOS PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR - CASO: COOPERATIVA LA UNIÓN- LURIGANCHO- CHOSICA							
PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO PRINCIPAL	HIPÓTESIS PRINCIPAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	MÉTODO
¿Qué tipo de camino básico menos costoso permitirá solucionar las inadecuadas condiciones de transitabilidad vehicular en las calles de la cooperativa La Unión- Lurigancho-Chosica?	Evaluar y diseñar un camino básico menos costoso para solucionar las inadecuadas condiciones de transitabilidad vehicular en las calles de la cooperativa La Unión- Lurigancho-Chosica.	Se diseñará un camino básico para mejorar la transitabilidad vehicular en las calles de La Cooperativa La Unión- Lurigancho – Chosica con un presupuesto inferior a 40 soles por metro cuadrado.	Diseño de un camino básico	Parametro geotécnicos	Ensayos de mecánica de suelos	Ensayo de granulometría, límites de Atterberg y CBR.	El estudio es un tipo de investigación aplicada, de forma experimental y a un nivel descriptivo y explicativo
				Parámetros climáticos	Datos del SENAHMI	Precipitaciones, Temperatura y humedad	
				Parámetros topográficos	Estudio topográfico	Curvas de Nivel, Perfil longitudinal y secciones transversales	
				Tipo de tráfico	Conteo de vehículos y tipo de vehículos	Número de vehículos transitantes	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	MUESTRA
¿Qué características y comportamientos presenta el suelo de la Cooperativa La Unión- Lurigancho – Chosica?	Determinar qué características y comportamientos presenta el suelo de la Cooperativa La Unión – Lurigancho – Chosica.	Las características y comportamientos que presenta el suelo de la Cooperativa La Unión- Lurigancho – Chosica no son los adecuados.	Transitabilidad Vehicular	Camino básico	Capacidad portante	Ensayos de CBR	2 calicatas ensayadas, de las cuales se realizó el ensayo de CBR al suelo natural, suelo natural + cloruro de calcio (al 1%, 1.5%, 2%) y suelo natural + cloruro de magnesio (al 3%,4%,5%) para cada calicata. También, se realizó el ensayo de granulometría y límites de atterberg al suelo natural.
¿Qué mejoras de CBR presenta el suelo de la Cooperativa La Unión- Lurigancho – Chosica frente a la incorporación de cloruro de magnesio y cloruro de calcio?	Precisar qué mejoras de CBR presenta el suelo de la Cooperativa La Unión – Lurigancho – Chosica frente a la incorporación de cloruro de magnesio y cloruro de calcio.	El suelo de la Cooperativa La Unión- Lurigancho – Chosica mejorará su CBR alcanzando un valor de entre 8% y 12 % frente a la incorporación de cloruro de magnesio y cloruro de calcio.					- Para la calicata: Pala y barreta. - Para los ensayos: tamices, balanza, copa de casa grande, martillo compactador, moldes para proctor y CBR, maquina de penetración,
¿Cuál es el mejor estabilizador, sea cloruro de magnesio o cloruro de calcio, y su respectiva dosificación para el suelo de la Cooperativa La Unión- Lurigancho Chosica con el fin de obtener un camino básico menos costoso?	Establecer cual es el mejor estabilizador, sea cloruro de magnesio o cloruro de calcio, y su respectiva dosificación para el suelo de la Cooperativa La Unión- Lurigancho Chosica con el fin de obtener un camino básico menos costoso.	El cloruro de magnesio con una dosificación de 3% será el que mejor establece el suelo de la Cooperativa La Unión- Lurigancho Chosica con el fin de obtener un camino básico menos costoso.					<b>PROCEDIMIENTO</b> - Realización de calicatas - Obtención de las muestras - Ensayo de granulometría al suelo natural. Ensayo de Límites de Atterberg. Ensayos de CBR para el suelo natural y las dosificaciones de cloruro de calcio y magnesio
¿Qué tipo de superficie de rodadura es el más adecuado para las calles de la cooperativa La Unión- Lurigancho-Chosica?	Diseñar y definir una superficie de rodadura de afirmado tratado con supresor de polvo para las calles de la cooperativa La Unión- Lurigancho-Chosica.	La superficie de rodadura de afirmado tratado con supresor de polvo es el más adecuado para las calles de la cooperativa La Unión- Lurigancho-Chosica.					<b>Características:</b> Ancho de calzada Número de carriles Bombeo de calzada Velocidad de Marcha Espesor de pavimento Material de subrasante Material de la superficie de rodadura



## FUENTES DE INFORMACIÓN

- Alvares, J. (2010). *Preparación de subrasantes*. Obtenido de [https://www.academia.edu/28762676/Subrasantes\\_Subrasantes\\_PREPARACIpor cientoC3 por ciento93N\\_PREPARACIpor cientoC3 por ciento93N\\_DE\\_SUBRASANTES\\_DE\\_SUBRASANTES](https://www.academia.edu/28762676/Subrasantes_Subrasantes_PREPARACIpor cientoC3 por ciento93N_PREPARACIpor cientoC3 por ciento93N_DE_SUBRASANTES_DE_SUBRASANTES)
- Anabelén, G. G. (2015). *“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO CAL ESTRUCTURAL EN EL SUELO LIMO ARCILLOSO DEL SECTOR 14 MOLLEPAMPA DE CAJAMARCA*. Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7327/Garcpor cientoc3 por cientoadapor ciento20Gonzalespor ciento20Anabelpor cientoc3 por cientoa9n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Balestrini, M. (2006). *Cómo Elaborar un Proyecto de Investigación*. Venezuela: Servicios Editorial.
- Campos Dinamarca, G., & Espinosa Orellana, E. (2006). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE SUPRESORES DE POLVO MEDIANTE EL USO DEL EQUIPO DUSTMATE Y EL EFECTO ECONÓMICO PARA LA CONSERVACIÓN RUTINARIA Y PERIÓDICA DE CARPETAS GRANULARES*. Maule.
- CAMPOS, G., & ESPINOSA, E. (En Memorias del 8<sup>a</sup> Congreso Internacional Provia 2006). *Análisis comparativo de la eficiencia de supresores de polvo mediante el uso del equipo DUSTMATE y el efecto económico para la conservación rutinaria y periódica de carpetas granulares*. Region de Maule.
- Dúran Rodas, D. T. (2014). *Diseño preliminar de un camino vecinal de aproximadamente 900 metros de longitud que enlaza dos caminos vecinales, comuna san José, parroquia Manglaralto, Cantón Santa Elena, Provincia Santa Elena, Ecuador*. Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca.
- Guía AASHTO 93. (1993). Capítulo I: Método para el diseño de pavimento rígidos. En AASHTO, *Guía AASHTO 93*. Obtenido de [https://www.academia.edu/12115759/CAPITULO\\_I\\_Mpor cientoC3 por](https://www.academia.edu/12115759/CAPITULO_I_Mpor cientoC3 por)

ciento89TODO\_AASHTO\_93\_PARA\_EL\_DISEpor cientoC3 por  
ciento91O\_DE\_PAVIMENTOS\_Rpor cientoC3 por  
ciento8DGIDOS\_1.1\_RESUMEN?auto=download

LMS-FIC-UNI. (2004). *Taller básico de mecánica de suelos - Límite Líquido y Límite plástico*. Obtenido de [http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/EXPOSICIONES/Limitepor ciento20liquidopor ciento20 por ciento20ypor ciento20plastico\\_ppt.pdf](http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/EXPOSICIONES/Limitepor ciento20liquidopor ciento20 por ciento20ypor ciento20plastico_ppt.pdf)

Luis, S. R. (2019). *Grupo Familia*. Obtenido de <https://zonalogistica.com/el-transporte-por-carretera-entrega-iv-by-diego-luis-saldarriaga-r/>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción* (Vol. I). Lima, Lima, Perú. Obtenido de [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_4522.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_4522.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Componentes de la infraestructura del camino. En MTC, *MANUAL DE CARRETERAS Suelos geología, geotecnia y pavimento* (págs. 23-26). Lima. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTCpor ciento20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7por ciento20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTCpor ciento20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7por ciento20SGGP-2014.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (09 de Abril de 2014). *Manual de carreteras el MC-05-14 Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos*. Lima, Lima, Perú. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALESpor ciento20DEpor ciento20CARRETERASpor ciento202019/MC-05-14 por ciento20Seccionpor ciento20Suelospor ciento20ypor ciento20Pavimentos\\_Manual\\_de\\_Carreteras\\_OK.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALESpor ciento20DEpor ciento20CARRETERASpor ciento202019/MC-05-14 por ciento20Seccionpor ciento20Suelospor ciento20ypor ciento20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Muestreo de Suelos y Rocas*. Lima. Obtenido de [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_3729.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3729.pdf)

Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2014). Suelos. En MTC, *MANUAL DE CARRETERAS Suelos geología, geotecnia y pavimento* (págs. 25-42). Lima, Perú. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALESpor ciento20DEpor ciento20CARRETERASpor ciento202019/MC-05-14 por ciento20Seccionpor ciento20Suelospor ciento20ypor ciento20Pavimentos\\_Manual\\_de\\_Carreteras\\_OK.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALESpor ciento20DEpor ciento20CARRETERASpor ciento202019/MC-05-14 por ciento20Seccionpor ciento20Suelospor ciento20ypor ciento20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf)

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Trafico vial. En MTC, *MANUAL DE CARRETERAS Suelos geología, geotecnia y pavimento* (págs. 62-76). Lima, Lima, Perú. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALESpor ciento20DEpor ciento20CARRETERASpor ciento202019/MC-05-14 por ciento20Seccionpor ciento20Suelospor ciento20ypor ciento20Pavimentos\\_Manual\\_de\\_Carreteras\\_OK.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALESpor ciento20DEpor ciento20CARRETERASpor ciento202019/MC-05-14 por ciento20Seccionpor ciento20Suelospor ciento20ypor ciento20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayos de Laboratorio*. Lima, Lima, Perú. Obtenido de [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_3729.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3729.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (20 de Mayo de 2019). *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*. Obtenido de Sistema Nacional de Carreteras: <https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/transportes.html>
- Montes, C. A. (2010). *ESTABILIZACION QUIMICA DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN EL PERU Y VENTAJAS COMPARATIVAS DEL CLORURO DE MAGNESIO (BISCHOFITA) FRENTE AL CLORURO DE CALCIO*. Lima, Lima, Perú.
- MTC - Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2006). *Manual técnico de mantenimiento periódico para la red vial departamental no pavimentada*. Lima, Lima, Perú. Obtenido de [http://www.carreteros.org/hispana/peru/01\\_peru.pdf](http://www.carreteros.org/hispana/peru/01_peru.pdf)
- MTC - Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2006). *Manual técnico de mantenimiento rutinario para la red vial departamental no pavimentada*. Lima, Lima, Perú. Obtenido de [http://www.carreteros.org/hispana/peru/01\\_peru.pdf](http://www.carreteros.org/hispana/peru/01_peru.pdf)
- MTC-Dirección General de caminos y Ferrocarriles. (2005). *Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito MTC*. Lima, Lima, Perú. Obtenido de [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_770.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_770.pdf)
- R, H., Fernández, C., & Baprista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A.
- RICO RODRIGEZ Alfonso y DEL CASTILLO, H. (1984). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres* (Segunda ed.). México: LIMUSA.
- Velasco, J. (2017). *Los estudios de impacto ambiental y el tráfico generado en la ciudad de Lima*. Lima, Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/9407/>

VELASCO\_JIMMY\_IMPACTO\_VIAL\_TRAFICO\_LIMA.pdf?sequence=1&  
isAllowed=y